UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

MICHELINE HELEN COT MARCOS

Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM.

São Paulo

2015

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB
RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DO ORIENTADOR.

O original se encontra disponível na sede do programa

Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de
desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM.

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo, da Universidade de São Paulo, para
a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e
Urbanismo.

Área de Concentração: Tecnologia da
Arquitetura

Orientador: Prof. Dra. Erica Yukiko Yoshioka

São Paulo, 22 de maio de 2015.

Dedico este trabalho àqueles que me estenderam à
mão quando eu mais precisei...

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço à professora Dra. Erica Yukiko Yoshioka, pela dedicada orientação e incentivo durante a realização do doutorado, pela paciência e sabedoria, pelos ensinamentos acadêmicos e filosóficos, mas acima de tudo pela lição de vida. Agradeço ao professor Dr. Khaled Goubar, por me aceitar no programa de doutoramento, pela confiança e por suas sábias palavras.

Ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo pela oportunidade, seriedade e qualidade, traduzidas nos seus professores, acadêmicos e funcionários.

Agradeço ao professor Dr. Sergio Scheer pela receptividade e pelo auxílio que vem me oferecendo desde o início do mestrado, na UFPR, e também no doutorado e por me aceitar no grupo de pesquisa TIC (Tecnologia da Informação na Construção) - BIM (Modelagem da Informação do Edifício), como voluntária.

À professora Msc Helena Fernanda Graff, pelas horas de desabafos, pela ajuda nos momentos mais difíceis do doutorado, por ser minha parceira e amiga.

Ao meu esposo, Reynaldo Paneque Cordovi, pelo carinho, paciência e por estar ao meu lado nos momentos mais importantes e difíceis da minha vida.

Aos demais professores do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU – USP que fizeram parte dessa trajetória.

“A aprendizagem é um simples apêndice de nós mesmos; onde quer que estejamos, está também nossa aprendizagem.”

Willian Shakespeare

RESUMO

MARCOS, M. **Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento de projeto, através do uso de ferramenta BIM.** 2015.150f. Tese de doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O setor da construção civil é responsável por uma parcela significativa do consumo de recursos naturais, incluindo energia, emissão de CO₂, água e materiais de construção. O tripé ambiente, economia e sociedade deve ser considerado de uma maneira integrada na indústria da construção civil, para atender as expectativas da sociedade e ao mesmo tempo reduzir impactos ambientais (AGOPYAN, JOHN, 2011). Novas tecnologias construtivas aliadas a novas tecnologias projetuais podem contribuir para a melhoria do ambiente construído na área de eficiência energética, desempenho térmico e impactos ambientais (FREIRE, M.; AMORIM, A., 2011). Essa pesquisa tem como objetivo principal: desenvolver um método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de uma ferramenta de Modelagem da Informação da Construção ("*Building Information Modeling*" - BIM), para auxiliar na tomada de decisões quanto ao sistema construtivo que proporcione menor impacto ambiental. Para essa pesquisa, foram analisados o CO₂ incorporado e a energia incorporada nos materiais de construção. Para validação da pesquisa, o método adotado foi o estudo de caso onde foram analisados dois sistemas construtivos: aço leve ("*steel frame*") e alvenaria, aplicados em um mesmo condomínio com vinte habitações unifamiliares, que se encontram na fase de projeto. A partir da revisão da literatura foram extraídos os dados de energia e CO₂ incorporado dos principais materiais de construção utilizados nos dois sistemas construtivos. Em seguida esses dados foram inseridos em uma ferramenta BIM. Primeiramente foram analisados e obtidos os resultados das vinte casas em alvenaria, em seguida realizou-se o mesmo processo para uma única casa e, para finalizar, de uma parede. Esse estudo se repete para o sistema em aço leve ("*steel frame*"). Como resultado obtém-se dados de impactos ambientais, auxiliando o profissional na escolha dos materiais de construção e sistemas construtivos com menor impacto ambiental.

Palavras Chave: Impactos Ambientais, Tecnologia da Informação, Sistemas Construtivos

ABSTRACT

MARCOS, M. **Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento de projeto, através do uso de ferramenta BIM.** 2015.150f. Tese de doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

The construction sector accounts for a significant portion of natural resources consumption, including energy, CO₂ emissions, water and building materials. The environment, economy and society should be considered in an integrated manner in the construction industry to meet society's expectations while reducing environmental impacts (AGOPYAN; JOHN, 2011). New construction technologies combined with new projective technologies can contribute to the improvement of the built environment in the area of energy efficiency, thermal performance and environmental impacts (FREIRE, M.; AMORIM, A., 2011). This research aims: to develop a method of obtaining informations of environmental impacts during the project development process, through the use of a modeling tool of Information Construction ("Building Information Modeling" - BIM), to assist in making decisions about building system that provides lower environmental impact. For this research, the embedded CO₂ and energy in building materials were analyzed. For validation of the research, the method adopted was the case study which analyzed two building systems: steel frame and masonry, applied in the same condominium with twenty houses, which are in the design phase. From the literature review were extracted energy and CO₂ informations built the main building materials used in both building systems. Then these data were entered into a BIM tool. First were analyzed and the results obtained from twenty houses masonry then carried out the same process for a single house, and finally, a wall. This study is repeated for the steel frame system. As a result is obtained data of environmental impacts, assisting the professional in the choice of building materials and construction systems with lower environmental impact.

Keywords: Environmental, BIM, steel frame

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. PESQUISA REALIZADA PELA CBCS E PNUMA SOBRE A NECESSIDADE DE DADOS PERTINENTES À SOLICITAÇÃO DE FERRAMENTAS ESPECÍFICAS PARA REDUZIR IMPACTOS AMBIENTAIS RELATIVOS À CONSTRUÇÃO CIVIL.	22
FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS NO BRASIL	59
FIGURA 3. ESTRUTURA DE RESIDÊNCIA EM <i>LIGHT STEEL FRAME</i> . MORADIA CONSTRUÍDA PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, EM CURITIBA – PARANÁ.....	61
FIGURA 4. CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE DA NORMA NBR 15575-201	62
FIGURA 5. AMPLIAÇÃO DE ESCOLA EM “ <i>LIGHT STEEL FRAME</i> ” COM DETALHE DA MONTAGEM DOS PERFIS.	63
FIGURA 6. ESQUEMA ILUSTRATIVO DO SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAME</i> COM SUBSISTEMAS	64
FIGURA 7. ESQUEMA DETALHADO DE UM PAINEL COM MONTANTE EM “ <i>LIGHT STEEL FRAME</i> ”.....	65
FIGURA 8. PLANTA BAIXA "EM <i>STEEL FRAME</i> "	66
FIGURA 9. DETALHE DO PAINEL 9.....	67
FIGURA 10. DETALHE DO PAINEL 4B, COM ABERTURA PARA JANELA.....	68
FIGURA 11. QUANTITATIVO DE MATERIAIS REFERENTE AO PAINEL 4B.	68
FIGURA 12. PREPARAÇÃO DO TERRENO E PASSAGEM DA TUBULAÇÃO HIDRÁULICA.	69
FIGURA 13. PREENCHIMENTO DO RADIER E COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	69
FIGURA 14. COLOCAÇÃO DA MANTA IMPERMEABILIZANTE E DA MALHA DE FERRO PARA ESTRUTURAR O RADIER.....	69
FIGURA 15. CONFECÇÃO DOS PAINÉIS NA FÁBRICA	70
FIGURA 16. PAINÉIS SENDO TRANSPORTADOS PARA A OBRA.	70
FIGURA 17. CONCRETAGEM DO RADIER E COLOCAÇÃO DOS PAINÉIS.	71
FIGURA 18. FIXAÇÃO DOS PAINÉIS NAS GUIAS.....	71
FIGURA 19. MONTAGEM DOS PAINÉIS.....	72
FIGURA 20. ESQUEMA DE PAINEL EM <i>STEEL FRAME</i>	72
FIGURA 21. MONTEGEM DA COBERTURA METÁLICA E COLOCAÇÃO DAS TELHAS.....	73
FIGURA 22. APLICAÇÃO DA MEMBRANA (FOTO E DETALHAMENTO SEM ESCALA).	73
FIGURA 23. APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO EXTERNO: PLACA CIMENTÍCIA.	74
FIGURA 24. DETALHE DO SISTEMA DE REVESTIMENTO EXTERNO: PLACA CIMENTÍCIA.....	74
FIGURA 25. OBRA FINALIZADA.	74
FIGURA 26. EXEMPLO DE PROJETO REALIZADO EM FERRAMENTA COM TECNOLOGIA BIM. MODELO VIRTUAL, PLANTA BAIXA E CORTE.	83
FIGURA 27. MODELO DE PROJETO COM MODELAGEM DAS INFORMAÇÕES.....	85
FIGURA 28. MODELAGEM COM INFORMAÇÕES.	86
FIGURA 29. CONSTRUÇÕES EM "LIGHT STEEL FRAME"	93
FIGURA 30. CASAS QUE FORAM RELOCADAS PARA OUTRAS EM "STEEL FRAME"	94
FIGURA 31. INSTALAÇÃO DE MONTANTES.	96
FIGURA 32. INSTALAÇÃO DE TESOURAS.....	96
FIGURA 33. INSTALAÇÃO DO OSB PARA FECHAMENTO EXTERNO.....	96
FIGURA 34. COLOCAÇÃO DA MANTA IMPERMEABILIZANTE.....	96

FIGURA 35. APÓS A INSTALAÇÃO DE CHAPAS DE OSB PARAFUSADAS NA COBERTURA EM AÇO, FORAM COLOCADAS AS TELHAS TIPO: SCHINGLE, QUE SÃO PARAFUSADAS NAS CHAPAS DE OSB.	97
FIGURA 36. COLOCAÇÃO DO " SIDING VINÍLICO" COMO FORMA DE REVESTIMENTO EXTERNO À ESQUERDA. À DIREITA OBSERVA-SE O PERFIL METÁLICO NO MEIO, A CHAPA DE OSB COM A MEMBRANA DO LADO EXTERNO E CHAPA DE GESSO ACARTONADO NA PARTE INTERNA.	97
FIGURA 37. PARTE INTERNA REVESTIDA COM CHAPAS DE GESSO ACARTONADO À ESQ. E A DIREITA OBRA QUASE FINALIZADA.	97
FIGURA 38. UNIVERSO DO ESTUDO DE CASO.	99
FIGURA 39. PLANTA BAIXA DA RESIDÊNCIA. (SEM ESCALA)	99
FIGURA 40. CORTE ESQUEMÁTICO (SEM ESCALA).	100
FIGURA 41. ELEVÇÃO FRONTAL (SEM ESCALA).	100
FIGURA 42. PLANTA BAIXA - CASAS GEMINADAS. (SEM ESCALA)	101
FIGURA 43. IMPLANTAÇÃO DO CONDOMÍNIO.....	102
FIGURA 44. IMAGEM ILUSTRATIVA GERADA PELA FERRAMENTA ARCHICAD	103
FIGURA 45. ENERGIA INCORPORADA EM UMA EDIFICAÇÃO.....	106
FIGURA 46. CONSUMO FINAL DE ENERGIA POR FONTE.....	110
FIGURA 47. PROCESSO DE GERAÇÃO DA INFORMAÇÃO NA FERRAMENTA BIM, ARCHICAD.....	121
FIGURA 48. PAREDE ANALISADA.	127

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. COMPARATIVO ENTRE CO ₂ E ENERGIA INCORPORADOS.	124
GRÁFICO 2. PORCENTAGEM COMPARATIVA DO CONSUMO ENERGÉTICO E CO ₂	124
GRÁFICO 3. COMPARATIVO ENTRE CO ₂ E ENERGIA INCORPORADOS.	126
GRÁFICO 4. PORCENTAGEM COMPARATIVA ENTRE CO ₂ E ENERGIA INCORPORADOS.	127
GRÁFICO 5. COMPARATIVO ENTRE CO ₂ E ENERGIA EMBUTIDOS.	128
GRÁFICO 6. PORCENTAGEM COMPARATIVA ENTRE CO ₂ E ENERGIA INCORPORADOS (EMBUTIDOS) REFERENTE A UMA PAREDE EM ALVENARIA.	129
GRÁFICO 7. COMPARATIVO ENTRE CO ₂ E ENERGIA INCORPORADOS (EMBUTIDOS).	131
GRÁFICO 8. PORCENTAGEM COMPARATIVA ENTRE CO ₂ E ENERGIA INCORPORADOS.	131
GRÁFICO 9. COMPARATIVO ENTRE CO ₂ E ENERGIA.	133
GRÁFICO 10. COMPARATIVO EM PORCENTAGEM PARA UMA CASA EM STEEL FRAME.	133
GRÁFICO 11. COMPARATIVO ENTRE CO ₂ EMBUTIDO E ENERGIA EMBUTIDA PARA UMA PAREDE EM " STEEL FRAME".	134
GRÁFICO 12. COMPARATIVO EM PORCENTAGEM REFERENTE A UMA PAREDE CONSTRUÍDA EM "STEEL FRAME".	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA NO BRASIL	20
TABELA 2. PRINCIPAIS ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO.	29
TABELA 3. INICIATIVAS GOVERNAMENTAIS PARA UMA CONSTRUÇÃO COM MENOR IMPACTO AMBIENTAL.	34
TABELA 4. SITUAÇÕES PARA DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PESQUISA.	89
TABELA 5. DENSIDADE DOS PRINCIPAIS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.	108
TABELA 6. ENERGIA EMBUTIDA EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO BRASILEIROS.....	109
TABELA 7. CONSUMO PRIMÁRIO DE ENERGIA POR FONTES EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (% MJ)	111
TABELA 8. GERAÇÃO DE CO ₂ POR FONTES DE ENERGIA.....	112
TABELA 9. DADOS EXTRAÍDOS DO ARCHICAD REFERENTES AO CONSUMO DE 20 CASAS NO SISTEMA CONVENCIONAL.....	123
TABELA 10. DADOS EXTRAÍDOS DO ARCHICAD.	126
TABELA 11. DADOS EXTRAÍDOS DO ARCHICAD REFERENTES A UMA PAREDE EM ALVENARIA.	128
TABELA 12. DADOS EXTRAÍDOS DO ARCHICAD.	130
TABELA 13. VALORES REFERENTES AO CARBONO E ENERGIA EMBUTIDOS DE UMA ÚNICA CASA EM STEEL FRAME.....	132
TABELA 14. DADOS REFERENTES A UMA PAREDE EM “STEEL FRAME”.	134
TABELA 15. COMPILAÇÃO DE RESULTADOS QUE FORAM EXTRAÍDOS DA FERRAMENTA BIM.....	136

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Problema da Pesquisa	16
1.2	Objetivos.....	16
1.3	Hipótese	17
1.4	Estrutura da pesquisa	17
1.5	Justificativa.....	19
2	ESTADO DA ARTE: IMPACTOS AMBIENTAIS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL.....	23
2.1	Introdução.....	23
2.2	Impactos ambientais e a construção civil	25
2.3	Relatórios e Instrumentos de avaliações ambientais do edifício	31
2.3.1	Introdução.....	31
2.3.2	Relatórios e políticas públicas	35
2.3.3	Pesquisas e publicações relacionadas à construção civil e impactos ambientais	44
2.4	Conclusão	56
3	SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	57
3.1	Introdução.....	57
3.2	Características do sistema “ <i>Steel Frame</i> ”	60
3.2.1	Acompanhamento de uma obra em “ <i>steel frame</i> ”	66
4	FERRAMENTAS DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DO EDIFÍCIO (“<i>BUILDING INFORMATION MODELING</i>” – BIM) NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS	76
4.1	Modelagem do produto em ferramentas BIM	80
4.1.1	Ferramenta BIM no desenvolvimento de projetos	84
5	MÉTODO DE PESQUISA	87
5.1	Caracterização do problema de pesquisa.....	87
5.2	Escolha do método de pesquisa	89

5.3	Estratégia de desenvolvimento da pesquisa	90
5.4	Estudo de Caso: Caracterização do Caso	98
6	DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	104
6.1	Energia e CO ₂ incorporados: Conceitos	104
6.2	Energia e CO ₂ incorporados: Dados	107
6.2.1	CO ₂ incorporado: Demonstrativo de cálculos	113
6.3	Dados extraídos da ferramenta BIM.....	120
7	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA FERRAMENTA BIM NO ESTUDO DE CASO	122
7.1	Resultados do sistema construtivo em alvenaria	122
7.1.1	20 casas em alvenaria	123
7.1.2	Uma casa em alvenaria	125
7.1.3	Uma parede em alvenaria	127
7.2	Resultados do sistema construtivo em “ <i>STEEL FRAME</i> ”	129
7.2.1	Vinte casas em “steel frame”	129
7.2.2	Uma casa em “steel frame”	132
7.2.3	Uma parede em “steel frame”	134
8	ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS	136
9	CONCLUSÃO	138

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção é uma atividade que tem acompanhado o crescimento e a evolução das civilizações. Edifícios, estradas, pontes, aquedutos e barragens, por exemplo, evidenciam uma forma de organização e de procura de melhores condições de vida. A construção é entendida como tudo o que é construído ou resulta de operações de construção e que está fixo ao solo. Assim, incluem-se nas construções: habitações, edifícios industriais, comerciais, de escritório, de saúde, educacionais, recreativos e agrícolas, pontes, estradas, estádios, entre outros. As atividades construtivas potencializam não só um efeito econômico e social, mas também ambiental, pois está associado à ocupação e ao uso do solo, ao consumo de recursos naturais, à produção em larga escala de resíduos e efluentes líquidos e gasosos e a alteração dos ecossistemas naturais (PINHEIRO, 2006).

Sendo assim, a presente pesquisa descreve sobre os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil, principais métodos e sistemas de avaliação de impactos no Brasil e no mundo aliados aos materiais de construção.

Para formas de validação do método utilizado, a pesquisa tem como foco as análises de energia e CO₂ incorporado nos materiais de construção. Além disso, são analisados dois sistemas construtivos: alvenaria convencional (estrutura em concreto armado com vedações em tijolos cerâmicos) e aço leve (“*steel frame*”) com vedações internas em gesso acartonado (“*dry wall*”) e externas com placa cimentícia.

Como metodologia de obtenção de dados de impactos ambientais, utiliza-se uma ferramenta projetual de Modelagem da Informação da Construção (“*Building Information Modeling*”: BIM), para auxiliar na tomada de decisões quanto ao sistema construtivo que proporcione menor impacto ambiental, no momento de desenvolvimento do projeto.

Como descreve Agopyan; John (2011), as decisões de projeto e a especificação de materiais construtivos e seus componentes, afetam diretamente o consumo de recursos naturais e de energia. Com relação ao consumo desses recursos, a construção civil está se posicionando e tomando decisões cada vez mais relevantes. As primeiras medidas se deram no início da década de vinte, como a reciclagem e a redução de perdas e de consumo de energia. Novos conceitos e ferramentas estão sendo aplicados como uso racional da água e economia de energia incorporada e

consumida; análise do ciclo de vida; projeto integrado; Modelagem da Informação na Construção (*"Building Information Modelling"*: BIM), ferramentas de simulação de comportamento dos edifícios, assim como políticas públicas.

O uso de ferramentas BIM no processo de projeto do edifício contribui para a melhoria da qualidade das construções, seu desempenho térmico e na escolha dos materiais e sistemas construtivos que propiciam redução de impactos ambientais. Na fase de projeto, as tecnologias BIM proporcionam ao profissional a possibilidade de conceber um modelo parametrizado, no qual é possível visualizar a volumetria, verificar os impactos da incidência solar, quantificar e qualificar o material aplicado, com ajustes de variáveis de conforto e impactos ambientais (FREIRE; AMORIM, 2011).

Aliar os sistemas construtivos e seus materiais de construção aos impactos ambientais correspondentes a cada material utilizado, juntamente com uma forma de projetar em ferramenta BIM, proporcionam alternativas para escolhas ou alterações projetuais antes da finalização do projeto.

1.1 Problema da Pesquisa

Baseado na revisão da literatura sobre ferramentas com tecnologia BIM, impactos ambientais relacionados à construção civil e às metodologias de avaliação ambiental existentes, essa pesquisa pretende responder a seguinte questão: "Como obter dados de impactos ambientais relativos aos materiais de construção, durante o processo de desenvolvimento do projeto?"

1.2 Objetivos

O objetivo principal dessa pesquisa é desenvolver um método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de uma ferramenta de Modelagem da Informação da Construção (*"Building Information Modeling"*: BIM).

Os objetivos específicos dessa pesquisa, embasados no objetivo geral e no problema são:

- a) Auxiliar profissionais na tomada de decisões quanto ao sistema construtivo que proporcione menor impacto ambiental, durante o processo de desenvolvimento do projeto.
- b) Comparar dois sistemas construtivos: aço leve e alvenaria convencional, com relação aos consumos de energia e CO₂ incorporados nos materiais de construção.

1.3 Hipótese

A presente pesquisa analisa a energia e o CO₂ incorporado nos materiais de construção e agrupa essas análises ambientais a cada material de construção utilizado. Além disso proporciona alternativas para escolhas ou alterações projetuais antes da finalização do projeto através do uso de uma ferramenta BIM.

Portanto a pesquisa busca saber se é possível obter dados de impactos ambientais relativos aos materiais de construção durante o processo de projeto, utilizando uma ferramenta BIM.

1.4 Estrutura da pesquisa

Essa pesquisa está estruturada em nove capítulos:

- a) Capítulo 1: se resume na introdução, objetivos, hipótese, problema da pesquisa e justificativa, descrevendo sobre o cenário atual, impactos ambientais e a importância de diminuir esses impactos relacionados à construção civil.
- b) Capítulo 2: descreve sobre o estado da arte dos impactos ambientais e os principais métodos de avaliação e certificação ambiental no Brasil e no mundo e a projetos de edifícios baseados na construção civil em geral.
- c) Capítulo 3: apresenta uma revisão bibliográfica sobre sistemas construtivos, suas definições e aplicações, com ênfase ao “*steel frame*” e alvenaria convencional.
- d) Capítulo 4: posiciona-se em descrever sobre ferramentas de modelagem da informação na construção do edifício: “*Building Information Modeling*” (BIM) e a importância da utilização de novas tecnologias construtivas e projetuais para diminuição de impactos ambientais relacionados à construção civil.

- e) Capítulo 5: este capítulo apresenta uma descrição do método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho. O capítulo inicia com a descrição da escolha da filosofia e estratégia de pesquisa utilizada no seu desenvolvimento. Posteriormente são apresentados o delineamento do processo de pesquisa e a descrição das etapas e dos métodos e técnicas para a coleta de dados empregados.
- f) Capítulo 6: descreve sobre o diagnóstico e análise dos dados para obtenção dos resultados propostos no objetivo. Foi utilizada uma ferramenta com tecnologia BIM para projeto. De início o projeto fornecido pela construtora foi detalhado com sistema construtivo em alvenaria convencional, o qual foi igualmente projetado em “*steel frame*”. Dessa maneira é possível obter um comparativo de resultados de impactos ambientais, além de tabelas e gráficos com os resultados de CO₂ e Energia Incorporados.
- g) Capítulo 7: propõe a aplicação do método de análise da ferramenta BIM no estudo de caso. O condomínio, escolhido como estudo de caso, foi projetado em dois sistemas construtivos: alvenaria convencional e “*steel frame*”. Em seguida foram inseridos na ferramenta BIM dados referentes a CO₂ e energia incorporados em cada material de construção. Esses dados foram previamente calculados através de referenciais bibliográficos. A partir disso, é possível extrair dados de impactos e assim auxiliar na escolha de materiais de construção com menor impacto ambiental.
- h) Capítulo 8: faz uma análise comparativa e uma compilação dos resultados obtidos através da ferramenta BIM, a partir dos dados inseridos no “*software*” como forma de análise de impactos ambientais (energia e CO₂), causados pelos materiais de construção de dois sistemas construtivos: alvenaria e “*steel frame*”.
- i) Capítulo 9: apresenta a conclusão e a importância dada a metodologia utilizada para obter valores de impactos ambientais no momento da realização do projeto arquitetônico.

1.5 Justificativa

De acordo com a projeção divulgada pelo IBGE em 2013 e publicados pelo CBCS (2014), a população brasileira até 2050 tende a crescer em um ritmo cada vez menor e a declinar a partir da década de 2040. Com relação ao perfil da população, em 1990, a idade média do brasileiro era de 25,6 anos e sua expectativa de vida era de 66,3 anos. Apenas 36,4 % da população tinham 30 anos ou mais. Em 2030, estima-se que a idade média do brasileiro subirá para 36 anos e 60% da população terá mais de 30 anos, e aproximadamente 93,1 milhões de domicílios.

Dados que provam a importância de se pensar em reduzir impactos ambientais ocasionados pela construção civil. A preocupação mundial em fazer construções ambientalmente conscientes com a sua inserção no espaço vem do fato de que os edifícios consomem mais da metade de toda a energia usada nos países desenvolvidos e que produzem mais da metade dos gases poluentes ao meio ambiente (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006). Esse consumo vem desde a extração da matéria prima, passando pela fabricação dos materiais de construção, erguimento da edificação, uso e demolição.

Essa pesquisa utiliza dados de consumo de energia e CO₂, denominados de consumo incorporado, ou seja, o consumo embutido nos materiais de construção até sua fabricação.

No cenário industrial brasileiro, a construção civil é de grande relevância, não só pela quantidade de recursos financeiros que movimenta e os empregos gerados, mas também pela quantidade de energia e recursos naturais que utiliza.

Atualmente são discutidos, a nível mundial, ações para minimizar a poluição ambiental e promover a redução dos níveis de emissões de gases que provocam o efeito estufa e que resulta no aquecimento global. A indústria da construção civil brasileira tem grande parcela de contribuição na situação atual, apontada como um dos setores da economia que maior impacto gera sobre o ambiente natural (CASAGRANDE, 2007).

Como mostra o relatório final do Balanço Energético Nacional (BEN, 2014)¹, ano base 2013, a oferta interna de energia primária entre os anos de 2004 e 2013 sofreu

¹ A EPE – Empresa de Pesquisa Energética disponibiliza a edição do BEN – Balanço Energético Nacional, de publicação anual e de competência do Ministério das Minas e Energia, fundamental para atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético nacional.

um aumento de 30% de fontes não renováveis e de 25% de fontes renováveis, conforme **Tabela 1**. Os valores de consumo das fontes energéticas estão em 10.000 tep². Segundo o mesmo relatório o consumo final de energia do setor industrial obteve a maior porcentagem de consumo entre outros setores, chegando a 33,9%. Estes são os principais resultados do Balanço Energético Nacional – BEN 2014 – ano base 2013 (BEN, 2013). O BEN é um documento anualmente publicado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e que compreende extensa pesquisa e a contabilidade relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação, distribuição e o uso final da energia.

FONTES	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
NÃO RENOVÁVEL	99.216	105.667	111.421	114.761	122.002	128.098	133.201	139.207	139.230	138.404
PETRÓLEO	76.641	84.300	89.214	90.765	94.000	100.918	106.559	108.976	107.258	104.762
GÁS NATURAL	16.852	17.575	17.582	18.025	21.398	20.983	22.771	23.888	25.574	27.969
CARVÃO VAPOR	2.016	2.348	2.200	2.257	2.552	1.913	2.104	2.134	2.517	3.298
CARVÃO METALÚRGICO	137	135	87	92	101	167	0	0	0	0
URÂNIO (U ₃ O ₈)	3.569	1.309	2.338	3.622	3.950	4.117	1.767	4.209	3.881	2.375
RENOVÁVEL	91.022	94.855	100.380	108.947	114.553	112.468	119.997	117.322	117.893	119.852
ENERGIA HIDRÁULICA	27.589	29.021	29.997	32.165	31.782	33.625	34.683	36.837	35.719	33.625
LENHA	28.187	28.420	28.496	28.618	29.227	24.609	25.997	25.997	25.683	24.580
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	29.385	31.094	35.133	40.458	45.019	44.775	48.852	43.270	45.117	49.306
OUTRAS RENOVÁVEIS	5.860	6.320	6.754	7.705	8.526	9.459	10.464	11.219	11.374	12.340
TOTAL	190.238	200.522	211.802	223.708	236.555	240.567	253.198	256.529	257.123	258.256

Tabela 1. Produção de energia primária no Brasil.

Fonte: BEN (2014)

O consumo final de energia cresceu em todos os setores de atividade, em especial na indústria, nos transportes, no setor agropecuário e no setor comercial. Assim, pode-se afirmar que as emissões de CO₂ decorrentes da produção e do uso da energia no Brasil mantiveram-se em níveis baixos quando comparados com outros

² Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP): Unidade de energia. A TEP é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma TEP corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.

países. Conforme dados do quinto relatório do IPCC³ (2014), as concentrações de CO₂ aumentaram em 40% desde a época pré-industrial com as emissões de combustíveis fósseis até as mudanças do uso da terra. O oceano tem absorvido cerca de 30% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono, causando sua acidificação.

Um dos principais gases gerados na queima de combustíveis fósseis é o dióxido de carbono (CO₂), principal gás causador do efeito estufa e emitido por atividades humanas. O efeito estufa é um dos problemas ambientais mais graves atualmente, devido às suas consequências, como aumento da temperatura global que está relacionado à elevação do nível do mar, alteração do suprimento de água doce, maior número de ciclones, tempestades e ressecamento do solo (BESSA, 2010).

Segundo Roodman (1995), nos últimos cem anos, a quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera aumentou 27%, dos quais um quarto desse valor provém da queima de combustíveis fósseis utilizados para fornecer energia para os edifícios. Em todo o mundo, a mineração do cobre, bauxita, minério de ferro e outros recursos naturais usados na fabricação de materiais de construção continuam em crescimento e assim, despejando grandes quantidades de poluentes no ar e na água. Em muitas ocasiões os danos causados na natureza são irreversíveis.

A construção civil no Brasil carece de definições quanto aos impactos ambientais causados pelo consumo de energia relacionado às edificações, desde a fabricação, manutenção e consumo dos materiais de construção, o levantamento da obra, até o consumo de energia durante o ciclo de vida. Essa carência de informações e definições é mostrada na pesquisa feita pelo CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) juntamente com o PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) (CBCS; PNUMA, 2014), onde mostra que os profissionais da área da construção civil gostariam de ter acesso a mais ferramentas computacionais de simulação energética (28%). Para a área de materiais, apontam a necessidade de criar um banco de dados público de Análise do Ciclo de Vida com dados de produtos e fabricantes nacionais. Para a área hídrica, há falta de ferramentas para auxiliar na implantação de fontes alternativas de água.

³ IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) teve início em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para fornecer informações científicas, técnicas e socioeconômicas para o entendimento das mudanças climáticas.

Os envolvidos, como são mostrados na **Figura 1**, sugerem que sejam criados bancos de dados públicos de livre acesso, com parâmetros ambientais como vida útil, conforto térmico, consumo energético, emissão de CO₂, dentre outros aspectos. Solicitam a criação de uma base brasileira pública que tenha interface com ferramentas de gestão do tipo “*Building Information Modeling*” (BIM).

Figura 1. Pesquisa realizada pela CBCS e PNUMA sobre a necessidade de dados pertinentes à solicitação de ferramentas específicas para reduzir impactos ambientais relativos à construção civil.
Fonte: (CBCS; PNUMA, 2014)

A indústria da construção civil brasileira contribui com grande parcela na situação atual, apontada como um dos setores da economia que maior impacto gera sobre o meio ambiente, já que consome cerca de 75% de fontes não renováveis (TAVARES, 2006).

Portanto, essa pesquisa se posiciona na obtenção de dados de impactos ambientais voltados para o consumo de energia e CO₂ incorporados nos materiais de construção, para que, no momento da realização do projeto, seja possível saber esses dados e optar pela escolha de outros materiais com menor impacto ambiental, com a utilização de uma ferramenta projetual com tecnologia BIM.

2 ESTADO DA ARTE: IMPACTOS AMBIENTAIS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL

2.1 Introdução

A cadeia produtiva dos materiais de construção civil consome aproximadamente metade das matérias primas extraída da natureza. É um aglomerado de diversas cadeias produtivas, composta de empresas de tamanhos e capacidades técnicas, gerenciais e econômicas muito variáveis. Cada setor da cadeia tem uma agenda ambiental e social específica. A redução do consumo de matérias primas é uma prioridade e depende da inovação tecnológica, pois a promoção da industrialização da construção permite reduzir as perdas e os impactos ambientais. A criação de um programa de fomento à inovação tem um potencial significativo de retorno ambiental e de ganho de competitividade da indústria. (CBCS; PNUMA, 2014).

Desde o ano de 2007, certificações ambientais internacionais ganharam importância no setor de construção civil no Brasil, sobretudo em projetos comerciais e de alto padrão. No ano de 2012, a busca pela certificação de sustentabilidade nas construções representaram 9% do valor da indústria de construção civil (ERNST; YOUNG, 2013). Certificações no Brasil incluem as de origem internacional, como LEED (*"Leadership for Energy and Environmental Design"*) e adaptações brasileiras de certificações de outros países como o AQUA (Alta Qualidade Ambiental). Também foram desenvolvidas certificações setoriais, como o Selo Qualiverde, na cidade do Rio de Janeiro; Selo BH Sustentável em Belo Horizonte e o Selo Casa Azul da Caixa, que é direcionado às construções do Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal⁴.

⁴ O Programa Minha Casa Minha Vida foi lançado em março/2009, com a finalidade de criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de um milhão de novas unidades habitacionais. Atualmente essa meta é de dois milhões de novas moradias para as famílias com renda bruta mensal de até R\$ 5.000,00, de acordo com dados da Caixa Econômica Federal.

As principais certificações ambientais brasileiras relacionadas à construção civil estão mostradas no **Quadro 1**.

Certificação	Abrangência
LEED	Internacional
BREEAM	Internacional
AQUA	Brasil
Selo Casa Azul	Brasil – Programa Minha Casa Minha Vida
PBE Edifica (Procel)	Brasil
Selo Qualiverde	Brasil - Rio de Janeiro
Referencial Casa	Brasil
Selo BH Sustentável	Brasil – Belo Horizonte

Quadro 1. Principais certificações ambientais relacionadas à construção civil no Brasil.

Fonte: CBCS; PNUMA (2014)

Nem sempre tais certificações representam economias energéticas, sendo que o único estudo no Brasil descrito por (OLIVEIRA, 2014) mostra que edificações certificadas LEED no momento da construção têm consumo energético igual ou maior que edificações da mesma tipologia que não foram certificadas. Esses resultados são parecidos com estudos realizados nos Estados Unidos (NEWSHAM, 2009; SCOFIELD, 2013).

Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam provenientes da construção civil. Tais aspectos ambientais, somados à qualidade de vida que o ambiente construído proporciona, sintetizam as relações entre construção e meio ambiente. A construção civil é responsável por 15,5% do Produto Interno Bruto Brasileiro (PIB) e esse valor pode chegar a 19,8%, o que corresponde a um quinto da riqueza gerada no país, sendo que 4,8% desse valor equivalem à indústria do aço (CNI, 2012).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o setor da construção civil tem papel fundamental para a diminuição dos impactos ambientais. Além dos impactos relacionados aos materiais e energia, existem aqueles associados à geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

2.2 Impactos ambientais e a construção civil

De acordo com a Resolução nº1 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (1986), impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem direta ou indiretamente:

- a) a saúde, segurança ou bem estar da população,
- b) as atividades sociais e econômicas,
- c) a biota,
- d) as condições estéticas e sanitárias ambientais e
- e) a qualidade dos recursos ambientais.

Os impactos ambientais são discutidos também sob o aspecto da sustentabilidade ambiental.

A partir de 1972 observa-se a evolução da preocupação internacional em relação às consequências da forma de desenvolvimento, em virtude de constatações da deterioração e eliminação de recursos ambientais. De 5 à 16 de junho desse mesmo ano, aconteceu em Estocolmo, na Suécia, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, atenta à necessidade de critérios e princípios comuns que ofereçam às comunidades um guia para preservar e melhorar o meio ambiente humano. Estiveram presentes representantes de 113 países e os debates tiveram como resultados a Declaração sobre o Meio Ambiente Humano e critérios de princípios de comportamento e responsabilidades para auxiliar nas decisões políticas ambientais (ONU, 2013).

Após dez anos de vigência das ações propostas na Conferência de Estocolmo (1972), foi criada pela ONU, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1983. Durante os primeiros três anos, a comissão propiciou discussões entre governos e membros da sociedade civil, que resultaram no Relatório Nosso Futuro Comum, conhecido como relatório de Brundtland, em homenagem à Presidente da comissão, Gro Harlem Brundtland (na época, primeira ministra da Noruega). O relatório de Brundtland foi lançado em 1987 e definiu, pela primeira vez, o conceito de desenvolvimento sustentável e sugeriu a conciliação entre o crescimento econômico com questões ambientais e sociais. O documento enfatizou os perigos do aquecimento global, da destruição da camada de ozônio e que a velocidade das mudanças climáticas estava maior do que a capacidade dos

pesquisadores em avaliá-las e propor soluções. Definiu-se que o desenvolvimento sustentável deve responder às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987).

Vinte anos após a Conferência de Estocolmo, o Brasil sedia a Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92 ou Eco-92, onde se reuniram líderes mundiais de 114 países, para analisarem a evolução das políticas de proteção ambiental. Na conferência foram produzidos cinco documentos com o objetivo principal de preservar a vida na terra através de mudanças de comportamento:

- a) Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
- b) Agenda 21 *“on sustainable construction”*
- c) Princípios para a Administração Sustentável das Florestas
- d) Convenção da Biodiversidade
- e) Convenção sobre mudança climática

A Agenda 21 estabeleceu uma visão de longo prazo para equilibrar necessidades econômicas e sociais com os recursos naturais, sendo adotada por 178 governos (CIB, 1992). De acordo com o documento, os principais desafios da construção sustentável envolvem processo e gestão, execução, consumo de materiais, energia e água, impactos no ambiente urbano e no meio ambiente natural e questões sociais, culturais e econômicas.

A Agenda 21 estabelece que o objetivo para se atingir menor consumo de recursos naturais é pesquisar a cadeia produtiva e todos os setores envolvidos no processo de produção de um produto: clientes, proprietários, empreendedores, investidores, responsáveis técnicos, projetistas, produtores de insumos, empreiteiras, empresas de manutenção, usuários e profissionais de ensino e pesquisa. O documento termina com a afirmação de que o maior desafio é agir de maneira preventiva imediata e preparar a cadeia produtiva para mudanças que são necessárias ao processo construtivo.

Setores da sociedade iniciaram um processo de interpretação da Agenda 21 nos contextos específicos das diversas agendas locais e setoriais. Políticas públicas passaram a impor requisitos ambientais a atividades econômicas e a demanda por produtos ambientalmente menos agressivos cresceu em paralelo. Os padrões internacionais de eficiência ambiental foram se elevando gradativamente e algumas

instituições passaram a agregar a concessão de financiamentos de projetos aos resultados de avaliações ambientais.

Com relação à construção civil, as interpretações mais importantes da Agenda 21 se resumem na Agenda Habitat II, assinada na Conferência das Nações Unidas em Istambul no ano de 1996; a CIB₅ Agenda 21 “*on Sustainable Construction*”, que contempla medidas para redução de impactos ambientais através de alterações na forma como os edifícios são projetados, construídos e gerenciados ao longo do tempo; e a CIB/UNEP₆ Agenda 21 “*for sustainable construction in developing countries*”.

Na indústria da construção civil a introdução de métodos e conceitos sustentáveis é um fato presente no mundo. Com o surgimento da Agenda 21, em 1992, coloca-se em prática a importância de aplicar conceitos bioclimáticos em projetos de planejamento e construção das edificações. Novas metas para construção do edifício foram adicionadas para o cumprimento de três objetivos comuns: tempo, custo e qualidade da obra. Para isso torna-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas de projeto e obra que permitam o cumprimento de ações ambientais, sociais e econômicas.

De acordo com (CIB, 2000), os principais desafios, apontados pela Agenda, que a indústria da construção deve superar em busca do desenvolvimento ambientalmente correto são: gerenciamento e organização, produtos e edifícios, consumo de recursos e impacto das construções no desenvolvimento urbano-sustentável. A partir da Rio-92, o conceito de construir com menor impacto ambiental, vem sendo cada vez mais aplicado em todas as atividades humanas, principalmente na construção civil, ao longo da cadeia produtiva.

A Comissão Europeia (“*Comission of the European Communities*”) em 1997 realizou esforços para desenvolver e promover estratégias para minimizar os impactos ambientais provocados pela indústria da construção. A respeito da competitividade da indústria da construção, são abordados os principais aspectos da sustentabilidade que afetam a indústria da construção civil:

- a) A construção, operação e demolição de edifícios consomem aproximadamente 40% de toda a produção de energia e contribui para uma percentagem semelhante de emissões de gases causadores do efeito estufa. O potencial

para a redução da emissão desses gases em edifícios existentes ou novos, é maior do que em qualquer outro setor, representando uma fatia considerável na redução de emissões.

b) Gestão de desperdícios da construção e/ou demolição:

Os desperdícios da construção e demolição constituem a maior fonte de resíduos sólidos por peso da União Europeia. O armazenamento destes resíduos representa cada vez mais dificuldades em muitos países da Europa.

Após vinte anos da ECO-RIO 92, quando houve a aprovação da Agenda 21, a ONU reúne governos e instituições internacionais para dar continuidade às discussões e decisões sobre impactos ambientais, sociais, culturais e econômicos no planeta. O evento mundial, denominado Rio+20, aconteceu no Rio de Janeiro, de 13 a 21 de junho de 2012 e teve como objetivos: discutir as causas da crise socioambiental, apresentar soluções práticas e fortalecer movimentos sociais no Brasil e no mundo (ONU, 2013).

Os governantes de 188 países reafirmaram os princípios enunciados na ECO-RIO 92 sobre desenvolvimento sustentável, entre eles a economia verde, lidar globalmente com a sustentabilidade, objetivos do desenvolvimento sustentável, recursos, produção e consumo sustentáveis, tecnologia, medir o crescimento sustentável, relatórios de sustentabilidade empresarial.

Dentro desse contexto de pesquisas relacionadas à construção civil e impactos ambientais, observam-se, na **Tabela 2**, os principais acontecimentos mundiais e nacionais sobre meio ambiente e desenvolvimento.

Data	Principais acontecimentos históricos sobre meio ambiente e desenvolvimento	
1961	Arquitetura Bioclimática	Conceito apresentado pelo livro "Design with climate" escrito por Victor Olgyay
1962	"Silent Spring"	Livro pioneiro que relata a degradação ambiental escrito por Rachel Carson
22/4/1970	"First Earth Day"	Iniciado nos EUA, a marcha de quase um milhão de pessoas em Nova Iorque
15/9/1970	Greenpeace	Entidade que originalmente procurava o fim das armas nucleares. Nesta data os ativistas impediram os testes nucleares do Alasca.
1972	"The limits to growth" (Os limites do crescimento)	Documento do Clube de Roma. Relatou problemas sobre o desenvolvimento da humanidade como: energia, poluição, saneamento, saúde, ambiente, tecnologia e crescimento populacional. Foi publicado e vendeu mais de 30 milhões de cópias em 30 idiomas, tornando-se o livro sobre ambiente mais vendido da história.
1972	"UN Conference on Human Environment"	Primeiro encontro mundial sobre problemas ambientais, realizado em Estocolmo, Suécia. Resultou em uma declaração sobre o meio ambiente, uma carta de princípios de comportamento e responsabilidades para auxiliar nas decisões políticas ambientais
1973	Embargo do Petróleo	No início da década de 1970, os principais países produtores do Oriente Médio, como Arábia Saudita, Irã, Iraque e Kuwait começam a regular as exportações do óleo às nações consumidoras, ocasionando falta de energia. A falta de energia resultou no desenvolvimento de edifícios com baixa energia incorporada e baixo consumo de energia durante a fase de uso (edifícios selados). Isso resultou em edifícios doentes, com ar interno contaminado.
22/3/1985	Convenção de Viena para proteção da camada de ozônio	Diante do problema da destruição da Camada de Ozônio, várias nações se mobilizaram. Em 1985, a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio foi assinada por dezenas de países, entre eles o Brasil, um dos primeiros a agir em prol da camada de ozônio. Dois anos depois, foi estabelecido o Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, ligado à Organização das Nações Unidas (ONU).
maio 1985	"British Antarctic Survey"	Publicação na revista Nature (edição 315, maio de 1985) de Farman, Gardier e Shanklin, onde supreenderam a comunidade científica por demonstrarem que existia um "buraco" na camada de ozônio, prevista teoricamente desde 1973.
1987	"Our Common Future". Nosso Futuro Comum	Relatório da Comissão de Burtland, comissão mundial de meio ambiente e desenvolvimento, no qual se definiu o conceito de desenvolvimento sustentável.
6/12/1988	IPCC ("Intergovernmental Panel on Climate Change")	Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, criado pela Unep (Programa Ambiental das Nações Unidas) e WMO (Organização Mundial de Meteorologia). Participam dessa organização 194 países.
3 a 14/6/1992	Rio 92	Realização da Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, onde participaram 114 chefes de estado. Resultou na publicação da Agenda 21.
11/12/1997	Protocolo de Quioto	Tratado complementar à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Definiu metas de redução de emissões para os países desenvolvidos, responsáveis históricos pela mudança do clima.
6 a 18/12/2009	Conferência do Clima em Copenhagen	Preparação para a revisão do protocolo de Quioto até 2012.
29/10/2010	Protocolo de Nagoya	Decisão para o compartilhamento dos benefícios das pesquisas genéticas.
29/11 a 10/12/2010	Congresso de Cancun	Aprovada a criação de um fundo para o Clima Verde.
*13 a 21/6/2012	Rio+20	Conferência que sucedeu, depois de 20 anos, a Eco-92, ambas no Rio de Janeiro, sobre impactos ambientais, sociais, econômicos e culturais na humanidade.
*8 a 12/7/2013	IX Convenção Internacional sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento	Convenção na cidade de Havana, Cuba. O evento surgiu em 1997 e este um ano após a Conferência Rio + 20 e tem como principais objetivos impulsionar a integração, a aplicação e a coerência do que precisa ser feito e foi reconhecido no documento final da conferência Rio+20
*24 a 27/10/2013	IV Conferência Nacional do Meio Ambiente (CNMA)	Implementação da política nacional de resíduos sólidos.

Tabela 2. Principais acontecimentos históricos sobre meio ambiente e desenvolvimento.

Fonte: AGOPYAN; JOHN (2011). * Atualizado e complementado pela autora (2013)

O desafio é a busca de um equilíbrio entre a proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica. Aplicar o conceito de Brundtland é buscar em cada atividade, formas de diminuir o impacto ambiental e de aumentar a justiça social dentro de uma realidade econômica.

Na construção civil os impactos ambientais se refletem em todas as atividades e implicam na revisão dos procedimentos que propiciam um alto consumo de materiais, geração de resíduos, emissão de gases geradores do efeito estufa e no consumo de água e energia (AGOPYAN; JOHN, 2011).

As políticas de desenvolvimento sustentável criaram um novo vocabulário: responsabilidade social empresarial, análise do ciclo de vida, mudanças climáticas, e têm implicações práticas em todas as atividades, incluindo a indústria da construção civil. Na construção civil essas políticas se refletem em todas as atividades e implicam a revisão dos procedimentos que resultam em um elevado consumo de materiais e geração de resíduos, na emissão de CO₂, no consumo de água e energia (AGOPYAN; JOHN, 2011).

A indústria da construção civil vem sofrendo significativas mudanças em todos os setores, desde a produção dos materiais até a construção das edificações no canteiro. Novos enfoques tecnológicos, gerenciais e de sustentabilidade estão sendo integrados no processo de concepção dos projetos, como ferramentas de análises ambientais e Modelagem da Informação na Construção (BIM – “Building *Information Modeling*”). Ferramentas de simulação do comportamento dos edifícios na fase de uso para análises de energia, conforto térmico e iluminação, novas tecnologias construtivas como sistema “steel frame”, e outras alternativas de construção estão sendo aplicados no Brasil.

O método desenvolvido para essa pesquisa se posiciona em obter dados com foco em dois impactos ambientais: energia incorporada e CO₂ incorporado nos materiais de construção, sendo que o método pode ser aplicado para qualquer impacto ambiental como a água, por exemplo, desde que existam dados da indústria ou de órgãos governamentais a respeito do consumo incorporado nos materiais de construção. A definição de “incorporado” significa o somatório dos requisitos energéticos de um produto ou serviço, necessários para a fabricação e distribuição de um produto nas todas as etapas do seu ciclo de vida até a fabricação (TREOLAR, 2002).

2.3 Relatórios e Instrumentos de avaliações ambientais do edifício

2.3.1 Introdução

A indústria da construção civil demorou em começar a discutir e enfrentar os problemas dos impactos ambientais, sendo que, até a metade da década de 1990 não tinha sido colocada como uma indústria com problemas relacionados ao meio ambiente (JOHN, V.; AGOPYAN, V., 2011). A demanda por um ambiente construído maior e de melhor qualidade pretende atingir um acentuado crescimento do setor nos países em desenvolvimento.

De acordo com o “*World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2012)*” e a “*Internacional Agency Energy (IEA)*” a estimativa para a indústria da construção é um crescimento calculado em duas vezes e meia entre 2012 e 2050 a nível mundial. Nos países em desenvolvimento (excluindo China e Índia) o crescimento está estimado em 3,2 vezes.

No Brasil a perspectiva para o setor da construção é um crescimento dobrado até 2022, sustentado através da ampliação do poder aquisitivo e da qualidade de vida da população. De acordo com o Construbusiness (2010), o Brasil se consolida como centro financeiro da América do Sul e com oportunidades para investimentos nos setores de energia, infraestrutura de transportes, comunicação e grandes eventos esportivos como foi a Copa do Mundo de 2014 e a será a Olimpíada de 2016. Esses grandes eventos internacionais propiciam a utilização do aço na construção, por possibilitar a utilização de técnicas alternativas e complementares aos métodos tradicionais de construção.

A utilização do aço proporciona benefícios como redução de resíduos, aumento da durabilidade, redução de impactos, facilidade no desmonte, reaproveitamento das estruturas e reuso de material (IAB, 2014).

A indústria da construção civil, de acordo com o Guia de Sustentabilidade na Construção (2008), é grande consumidora de recursos naturais, energéticos e geradora de resíduos. Para reduzir esses impactos recomenda-se utilizar materiais de construção com baixas emissões de CO₂, menor consumo de energia e água e geração de resíduos.

Análises de impactos ambientais causados pela indústria da construção civil estão sendo realizadas e documentadas por órgãos governamentais, através das certificações e pesquisas acadêmicas, por aplicarem e criarem novos métodos de avaliação. Na construção civil, os projetos são específicos para cada situação e a linha de produção é ainda artesanal, dificultando o entendimento tanto de materiais e processos demandados para cada edifício, quanto dos impactos ambientais.

Neste contexto, o setor da construção civil brasileira, juntamente com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), criou uma norma de desempenho para edificações (ABNT NBR 15575: 2013) a fim de estabelecer condições confortáveis de segurança, habitabilidade, durabilidade e sustentabilidade. É importante dizer que esta norma se direciona a edifícios residenciais de até cinco pavimentos, mas é única no Brasil quanto ao desempenho nos diferentes aspectos: segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Como as análises de impactos ambientais é uma demanda necessária e atual, as avaliações vêm ocorrendo em paralelo, tanto por importações de indicadores de sustentabilidade: "*Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*", *BRE Environmental Assessment Method (BREEAM)*", Alta Qualidade Ambiental (AQUA), quanto por iniciativas de órgãos públicos: Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais (SINDUSCON-MG), Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH), Caixa Econômica Federal com o Selo Azul da Caixa.

Atualmente, existem vários indicadores de impactos ambientais relacionados à construção civil, e parte deles vêm se internacionalizando. No Brasil se aplica o LEED Brasil, proveniente do certificador LEED norte-americano; o AQUA, a partir do certificador francês "*Haute Qualité Environnementale*" (HQE); e o BREEAM, sistema certificador inglês.

Os edifícios que buscam a certificação são em sua maioria comerciais. Mais de 50% dos edifícios certificados pelo LEED até 2011 são comerciais. Desses, o LEED e o AQUA têm passado pelo processo de tropicalização, enquanto o BREEAM é aplicado nos mesmos moldes ingleses.

A adaptação desses indicadores ao Brasil é importante, pois os aspectos considerados estão baseados em leis e práticas próprias, definidas por aspectos culturais e tradições construtivas de cada país de origem, o que pode acarretar em erros na interpretação dos resultados (FOSSATI, 2008).

A aplicação desses indicadores no Brasil se restringe aos empreendimentos de alto padrão, onde a etapa de planejamento de obra é definidora de todos os procedimentos e especificações. Infelizmente, isso não abarca a maior parte da construção civil brasileira, que é constituída, em sua maioria, de construções mal planejadas, com definições no canteiro de obras.

Algumas iniciativas brasileiras vêm surgindo, por intermédio de “selos verdes” ou de guias de boas práticas em sustentabilidade. Dentre os selos destacam-se o SELO CAIXA AZUL, da CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA, 2010), e o SELO SUSTENTÁVEL, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, que se pautam em itens semelhantes aos certificadores: uso do solo, aproveitamento de recursos naturais, uso racional de água e energia, materiais e recursos, estabelecendo critérios de avaliações.

Quanto aos guias de boas práticas em sustentabilidade na construção civil destacam-se os do SINDUSCON-MG e da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro. Ambos estabelecem apenas sugestões, tal como indica seu título “guia de boas práticas”, e não pontuam ou avaliam.

Com relação à certificação do uso racional da água, a Secretaria de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo (SABESP) possui uma iniciativa que trata do uso racional da água, o Programa de Uso Racional da Água (PURA). Este programa cria parâmetros por tipo de edificações e propostas para tornar esse uso eficiente. Ainda não existe uma regulamentação federal, embora alguns municípios, como Curitiba e Rio de Janeiro, exigem, nos códigos de obra, a reutilização de água nas edificações (GARCIA, 2011).

Com relação aos resíduos sólidos decorrentes da construção civil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) institui princípios, objetivos e instrumentos para o gerenciamento dos resíduos sólidos. A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA Nº 307) é parte dessa política nacional e trata da destinação final dos resíduos da construção civil, bem como dos aspectos de reutilização e reciclagem.

Quanto aos aspectos construtivos e da seleção de materiais, as iniciativas existentes focam no âmbito da conformidade e garantia da qualidade dos produtos. O Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), por meio do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), apresenta critérios de conformidade para sistemas inovadores, avalizando a qualidade desses produtos.

A Tabela 3 mostra as principais iniciativas governamentais e normas referentes aos aspectos para obter edificações com menor impacto ambiental.

Tópicos	Documento/Legislação	Iniciativa
Concepção do projeto e relação com o entorno	Estudos de impactos ambientais (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Resolução Conama nº 001/86. Estudo de impacto da vizinhança.	Conselho Nacional do Meio Ambiente Regulação Urbana Municipal
Qualidade ambiental da edificação e eficiência energética	PROCEL EDIFICA Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência de edifícios comerciais e residenciais, serviços e públicos (RTQ-C)	Eletrobrás
Uso da água	Programa de uso racional da água pura (PURA)	Secretaria de Abastecimento da Água do Estado de São Paulo (SABESP)
Aspectos construtivos: seleção de materiais, sistemas e gestão da qualidade	Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SNAT/ PBQP-H – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat)	Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República - SEDU/PR
Implementação de diretrizes para redução de impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil.	Política Nacional de Resíduos Sólidos. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Sustentabilidade na construção civil.	Selo Casa Azul. Boas práticas para uma habitação mais sustentável	Caixa Econômica Federal. Governo Federal.
Melhoria na eficiência energética	Lei de Eficiência Energética – 10295/01	Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica - PROCEL
Uso e reúso da água	Manual: Conservação e Reúso da água em edificações (2005)	ANA (Agência Nacional da água), FIESP (Federação das Indústrias de São Paulo) Sinduscon - SP
* Nova Norma ISO 14046 para análise de Pegada hídrica de um Produto. (2014)	Norma Técnica de Pegada hídrica. Esta nova norma pretende apresentar diretrizes para a avaliação da pegada hídrica dentro de uma abordagem de Análise do Ciclo de Vida baseada nas normas ISO 14040 e ISO 14044	Comitê brasileiro de meio ambiente da Associação Brasileira de Normas Técnicas

Tabela 3. Iniciativas governamentais para uma construção com menor impacto ambiental.

Fonte: GARCIA (2011). * Adaptado e atualizado pela autora (2014)

Na construção civil essas políticas se refletem em todas as atividades e implicam na revisão dos procedimentos que resultam em elevado consumo de materiais e geração de resíduos, gases do efeito estufa e no consumo de água e energia.

2.3.2 Relatórios e políticas públicas

2.3.2.1 Relatório 237 da Agenda 21

Agopyan, V. (2000), traduz para língua portuguesa o relatório 237 da Agenda 21 para uma Construção Sustentável, escrito inicialmente por Bourdeau (2000). Esse relatório é o resultado final de um processo iniciado no CIB (*Internacional Council for Research and Innovation in Building and Construction*) em 1995, cujo principal componente consiste em uma análise sobre os futuros direcionamentos para uma construção sustentável e dos meios para envolver a colaboração internacional na pesquisa e nas inovações dessa atividade. Segundo o relatório, os aspectos e desafios para uma construção sustentável são: gerenciamento e organização, aspectos do produto do edifício, impactos da construção no desenvolvimento urbano sustentável e aspectos sociais, culturais e econômicos.

a) Gerenciamento e organização

Gerenciamento e organização são aspectos essenciais para uma construção com menor impacto ambiental e o tema deve comprometer não só os aspectos técnicos, mas também os aspectos sociais, legais, econômicos e políticos. Resume-se em um tema complexo devido ao grande número de agentes envolvidos no processo de atividades (*stakeholders*), desde a fase de desenvolvimento até a de desconstrução ou demolição, passando pela fase de operação de cada componente do ambiente construído. As barreiras para o progresso são grandes e os desafios a serem enfrentados lidam com diferentes aspectos: processo de projeto, qualidade ambiental da construção, a reengenharia do processo construtivo, o desenvolvimento de novos conceitos construtivos, recursos humanos, processo de tomada de decisão, exigências dos proprietários e clientes, educação, conscientização pública, normas, regulamentos e pesquisas.

b) Os aspectos do produto do edifício

Como otimizar as características dos edifícios e dos produtos de forma a melhorar o desempenho sustentável, levando-se em consideração fatores como o clima, cultura, tradições construtivas, e fase de desenvolvimento industrial. O consumo de recursos é um grande desafio para o setor da construção. Medidas de economia de energia e água, programas de recuperação e reforma extensivo e necessidades de transporte constituem grandes desafios. A redução do uso de recursos minerais e conservação da função de apoio à vida do ambiente requer o uso de materiais renováveis ou recicláveis, seleção apropriada dos materiais e previsão da vida útil.

c) Os impactos da construção no desenvolvimento urbano sustentável

O ambiente construído constitui um dos principais apoios para o desenvolvimento econômico e bem estar social. Outros aspectos importantes estão ligados à qualidade do ambiente, qualidade de vida, da moradia e aspectos administrativos. Além do entulho, outras cargas ambientais produzidas pela indústria da construção são apresentadas na Agenda 21, vinculadas à produção, operação e desmontagens de edifícios e obras civis.

d) Aspectos sociais, culturais e econômicos

Os aspectos sociais, ambientais e econômicos foram especificamente citados na Agenda Habitat II onde relata que a indústria da construção é a maior contribuinte para o desenvolvimento sócio econômicos de todos os países. Uma construção sustentável pode ser encarada como uma contribuição para a diminuição da pobreza, criando um ambiente de trabalho saudável e seguro, distribuindo custos sociais e benefícios da construção, facilitando a criação de empregos, desenvolvimento de recursos humanos e agregando benefícios financeiros e melhorias para a comunidade.

2.3.2.2 “Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth”, relatório publicado pela UNEP

A UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) desenvolve, em 2011 um relatório denominado “Desconectando o uso de recursos naturais e impactos ambientais do crescimento econômico” (*“Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth”*). O relatório apresenta dados sobre o consumo de recursos naturais no mundo, um exemplo descrito no texto aponta que em 2050 o consumo de recursos naturais no planeta será em torno de 140 bilhões de toneladas de produtos minerais, combustíveis fósseis e biomassa.

O relatório afirma que é necessário desconectar a taxa de consumos de recursos naturais da taxa de crescimento econômico. Este relatório apresenta provas substanciais do consumo de recursos naturais através de dois estudos de caso e projeta o futuro para uma economia verde e o bem estar humano. Um panorama de investimento verde é projetado para reduzir as emissões de CO₂ e energia em um terço até 2050, em comparação aos níveis atuais.

Estima-se gerar crescimento e empregos na mesma proporção que o cenário atual, superando as projeções econômicas a médio e longo prazos e, ao mesmo tempo, gerando mais benefícios ambientais e sociais. Portanto, os líderes mundiais, a sociedade civil e as empresas devem participar para repensar e redefinir parâmetros tradicionais de riqueza, prosperidade qualidade de vida.

2.3.2.3 Selo Casa Azul - Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável, da Caixa Econômica Federal

Busca reconhecer os projetos de edificações que demonstrem contribuições para a redução de impactos ambientais relacionados à qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais. O Selo Casa Azul, desenvolvido em 2010, é um instrumento de classificação socioambiental de projetos de empreendimentos habitacionais que busca reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à construção, uso, ocupação e manutenção das edificações e objetiva incentivar o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e seu entorno.

O Selo se aplica a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais apresentados à Caixa Econômica Federal para financiamento. Podem se candidatar ao Selo as empresas construtoras, o Poder Público, empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades representantes de movimentos sociais.

O método utilizado para a concessão do Selo consiste em verificar, durante a análise de viabilidade técnica do empreendimento, o atendimento aos critérios estabelecidos pelo instrumento, que estimula a adoção de práticas voltadas à sustentabilidade dos empreendimentos habitacionais. Com o Selo Casa Azul, pretende-se estabelecer uma relação de parceria com os envolvidos no projeto, fornecendo orientações para incentivar a produção de habitações mais sustentáveis. O documento relata, no início, nas páginas 11, 12 e 13, sobre o consumo de matérias primas e geração de resíduos na construção; mudança climática e os impactos causados pela indústria; consumo de água e energia e outros impactos ambientais.

Existem três níveis de gradação do selo: bronze, prata e ouro. O bronze atende aos critérios obrigatórios; o prata atende aos critérios obrigatórios e mais seis critérios de livre escolha; o ouro atende aos critérios obrigatórios e mais doze critérios de livre escolha.

2.3.2.4 “Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC)

“Intergovernmental Panel on Climate Change” (IPCC, 2007), quarto relatório apresentado em maio de 2007, em Bangkok, Tailândia, mostra alterações provocadas no clima pela intervenção humana e projeções futuras. O relatório classifica que edifícios eficientes e a mudança no estilo de vida e padrões de consumo da população devem reduzir as alterações no meio ambiente. Este fato evidencia a importância da aplicação de construções com menores impactos ambientais. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC) foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pela “United Nations Environment Programme”(UNEP) em 1988, com o objetivo de estudar e divulgar as informações técnicas e socioeconômicas e os impactos relevantes aos riscos à humanidade, visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais.

Em Fevereiro de 2007 o IPCC divulgou os resultados do seu quarto relatório de avaliação das mudanças climáticas do planeta. Os resultados revelam um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100. Esse aumento pode ser ainda maior (6,4°C) se a população e a economia continuarem crescendo rapidamente e se for mantido o consumo intenso dos combustíveis fósseis. O relatório aponta que a maior parte do aumento de temperatura observado nos últimos 50 anos foi provocada por atividades humanas.

2.3.2.5 “*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*” (BREEAM)

Pioneiro em avaliação de critérios ambientais e desenvolvido por pesquisadores do “*Building Research Establishment*” (BRE) juntamente com o setor privado, em parceria com a indústria. Foi desenvolvido no Reino Unido, em 1990, e visa a especificação e mensuração de desempenho ambiental. Os critérios ambientais a serem avaliados estão divididos em nove categorias: gestão, saúde e conforto, uso de energia, transporte, uso de água, uso de materiais, uso do solo, ecologia local e poluição (SILVA, 2007).

Classifica-se como o instrumento de avaliação de critérios ambientais pioneiro no mundo e serviu de base para diversos métodos de avaliação ambiental de edifícios. Recebeu o Prêmio “*The Best Program Award*” recebido na “*World Sustainable Building Conference*”, realizada em Tóquio, em 2005. No Reino Unido, 65.000 edifícios foram certificados em 2007 e outros 270.000 estão registrados para avaliação (FOSSATI, 2008).

O sistema é revisado periodicamente para atualização em relação a avanços em pesquisa e tecnologia, à experiência acumulada, alterações nas prioridades de regulamentações e do mercado, e para garantir que continue representando práticas de excelência no momento da avaliação. No site do BREEAM (www.breeam.org) está disponível para download um *checklist* simplificado que estima os pontos do edifício em cada categoria, a pontuação geral e a classificação do edifício, no caso de uma avaliação. A metodologia completa é acessível apenas aos avaliadores credenciados, que verificam o atendimento de itens mínimos de desempenho e atribuem os créditos correspondentes. O propósito principal dessa metodologia de

avaliação é estabelecer um eco selo de eficiência ambiental, através de uma avaliação de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de um produto.

A metodologia de análises ambientais BREEAM avalia a performance ambiental das edificações principalmente através das análises das seguintes questões:

- a) Gerenciamento dos procedimentos operacionais e de manutenção da edificação;
- b) Gerenciamento dos gastos energéticos e emissão de CO₂ na edificação;
- c) Qualidade do ambiente interno e externo;
- d) Emissão de poluentes na água e no ar;
- e) Emissões relacionadas às necessidades de transportes e à localização da edificação;
- f) Gerenciamento do uso do solo e subsolo;
- g) Gerenciamento dos materiais utilizados baseado nos impactos ambientais relativos ao ciclo de vida e
- h) Eficiência no gerenciamento da água.

2.3.2.6 “Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency” (CASBEE)

Desenvolvido no Japão em 2002, apresenta ferramentas de avaliação, que avalia o projeto ou edifício em fases distintas do ciclo de vida: ferramenta para avaliação do pré-projeto, de projeto para o ambiente, de certificação ambiental, avaliação pós-projeto (SILVA, 2007). O CASBEE avalia diversas tipologias de edifícios e é composto por quatro ferramentas de avaliação relacionadas às fases do ciclo de vida do edifício. As avaliações dos edifícios são realizadas em três estágios distintos: ao final do projeto preliminar; ao final do projeto executivo e a terceira quando completada a etapa de construção.

Relata Fossati (2008) que a principal diferença do CASBEE para os outros métodos está na utilização do conceito de ecossistemas fechados para determinar a capacidade ambiental relacionada ao edifício a ser avaliado; é proposto um espaço hipotético fechado delimitado pelas fronteiras do terreno do edifício. Tem-se então a definição e distinção entre dois tipos de espaços: o espaço dentro dos limites do

terreno (propriedade privada) e o espaço fora dos limites do terreno (propriedade pública). Com relação a estes dois espaços, o CASBEE define dois fatores: o fator de cargas ambientais, definido como o impacto ambiental negativo que se estende para fora do espaço hipotético; e o fator de melhoria da qualidade e desempenho ambiental do edifício definido como as melhorias do ambiente para os usuários do edifício.

A estrutura de avaliação e apresentação dos resultados deste sistema deriva da GBTool, na medida em que fornecem uma base sólida para orientar o desenvolvimento de métodos de avaliação ambiental locais. A avaliação é feita segundo a atribuição de no máximo cinco pontos, de acordo com critérios de pontuação determinados através de padrões técnicos e sociais.

2.3.2.7 “Green Building Challenge” (CBC)

Acordo internacional, desenvolvido em 1996, com o objetivo de desenvolver um novo método para avaliar o desempenho ambiental de edifícios: protocolo de avaliação com uma base comum, capaz de respeitar diversidades técnicas e regionais.

O CBC caracteriza-se por ciclos sucessivos de pesquisa e difusão de resultados. A etapa de desenvolvimento inicial, financiada pelo governo Canadense envolveu quinze países e culminou em uma conferência internacional em Vancouver, Canadá: CBC’ 98. O CBC diferencia-se como uma geração de sistemas de avaliação desenvolvida para refletir diferentes prioridades, tecnologias, tradições construtivas e valores culturais de diferentes países ou regiões em um mesmo país. Os avaliadores do GBC encontram dificuldades para avaliar campos como energia incorporada nos materiais, liberação de gases tóxicos e reflexos da construção no entorno da comunidade (SILVA, 2003).

O GBC analisa doze indicadores de sustentabilidade resumido nos seguintes critérios: energia, área de solo consumida, água, CO₂, materiais reutilizados, novos materiais (SILVA, 2003).

2.3.2.8 “Leadership in Energy and Environmental Design” (LEED)

Os trabalhos desenvolvidos pelo *LEED* foram iniciados nos Estados Unidos nos anos 90 para facilitar a transferência de conceitos de construção ambientalmente sustentável para os profissionais e para a indústria americana de construção civil. A primeira versão foi lançada em janeiro de 1999. Por ser um sistema norte-americano ainda não adaptado, toda a avaliação é feita em planilhas em língua inglesa, o que pode dificultar o entendimento dos critérios por um público leigo, além das disparidades regionais. Dessa forma, alguns termos aqui apresentados não são traduzidos, para evitar erros de interpretação.

O sistema trabalha por pontuações e cada critério apresenta uma ponderação. Consiste em 93 itens, dos quais 8 são pré-requisitos. Os temas avaliados pelo LEED são: espaços sustentáveis; uso racional da água; energia e atmosfera; materiais e recursos e qualidade ambiental interna; inovação e processo de projeto.

Dos 110 pontos distribuídos nos diferentes créditos, 19 estão ligados à questão dos materiais, e destes, 15 estão na categoria materiais e recursos, 4 na categoria qualidade ambiental. Os outros critérios estão divididos em: 10 pontos para o espaço sustentável, 10 para uso racional da água, 35 para energia e atmosfera, 15 para qualidade ambiental interna, 6 para inovação e processo do projeto.

O desempenho ambiental do edifício é avaliado de forma global, ao longo do ciclo de vida. O critério mínimo de nivelamento para a avaliação de um edifício pelo *LEED* é o cumprimento de uma série de requisitos. O sistema é dividido em critérios de pontuação: sítios sustentáveis, uso eficiente da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ambiente interno e inovação e processo de projeto (SILVA, 2003).

2.3.2.9 AQUA

O certificador AQUA foi adaptado, em 2008, do certificador francês HQE pela Fundação Vanzolini, que é ligada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo (USP) (GARCIA, 2011).

O AQUA avalia o desempenho, que é expresso em 3 níveis: bom (mínimo), superior (boas práticas) e excelente (comparativo a outros empreendimentos). Segundo o

certificador AQUA, “para obter a certificação, devem ser satisfeitas as exigências do referencial de modo que pelo menos três das categorias atinjam o nível ‘excelente’ e no máximo 7 estejam no nível ‘bom’.

O Sistema de Gestão do Empreendimento é a coluna vertebral do empreendimento, pois se relaciona com a tomada de decisões na concepção do edifício. Neste quesito, avalia-se a preocupação com a coerência global, analisando as interações entre as categorias e as escolhas que elas geram. Seus critérios são: comprometimento do empreendedor; implementação e funcionamento; gestão do empreendimento e aprendizagem.

Com relação à Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), algumas categorias analisadas estão relacionadas a normas brasileiras existentes e a programas nacionais de qualidade (PBQP-H) e normatização (INMETRO). Assim, o que a certificação faz é garantir a aplicação de iniciativas já existentes na construção civil, principalmente para garantir a qualidade de processos e produtos e identificar, nessas iniciativas de redução, impactos positivos na avaliação ambiental.

O certificador AQUA utiliza a metodologia francesa, mas baseia-se na legislação e nas recomendações brasileiras. Isso demonstra que muitas práticas que levam ao baixo impacto ambiental já existem na forma de legislação ou de iniciativas para a construção civil (GARCIA, 2011).

Algumas categorias analisadas estão relacionadas a normas brasileiras existentes e a programas nacionais de qualidade e normatização, com relação à Qualidade Ambiental do Edifício. Sendo assim o que a certificação faz é garantir a aplicação de iniciativas já existentes na construção civil, para mensurar a qualidade de processos e produtos e identificar os impactos positivos na avaliação ambiental.

Apesar dos sistemas certificadores abordarem os aspectos da construção com impactos ambientais reduzidos, a aplicação no Brasil é feita, na maioria das vezes, em empreendimentos de alto padrão, onde a etapa de planejamento de obra é definidora de todos os procedimentos e especificações.

2.3.2.10 Conclusão

Muitas iniciativas contribuem para agregar estudos sobre a redução de impactos ambientais na construção: ações institucionais, inovações tecnológicas, planejamento e gestão de recursos, sensibilização da população e capacitação profissional. Contudo, políticas públicas podem contribuir com o direcionamento de práticas, se acordadas e introduzidas nos setores produtivos de forma assertiva. No Brasil existe potencial para a criação de um programa estruturado de política nacional voltado à promoção da redução de impactos ambientais (CBCS; PNUMA, 2014).

2.3.3 Pesquisas e publicações relacionadas à construção civil e impactos ambientais

Neste tópico relacionam-se as principais pesquisas e publicações sobre construção civil e meio ambiente: livros e pesquisas acadêmicas publicados no país.

2.3.3.1 O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil

“O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil” (AGOPYAN; JOHN, 2011), é uma publicação que surgiu a partir da análise do panorama histórico com o início do conceito de desenvolvimento sustentável até o evento da agenda 21. A publicação foi escrita por diversos pesquisadores nacionais que apresentam conceitos sobre desenvolvimento sustentável no Brasil e os impactos relacionados à construção civil. Essa publicação é o volume 5 e os autores orientam profissionais sobre o tema e fornecem dados para permitir o desenvolvimento de suas atividades, considerando os aspectos relacionados ao meio ambiente. Além disso, descreve a problemática e a importância da sustentabilidade na indústria da construção civil, com foco na cadeia produtiva dos produtos. Como está descrito na pág. 13:

”A cadeia produtiva na Construção Civil é responsável pela transformação do ambiente natural no ambiente construído, que precisa ser permanentemente atualizado e mantido. Todas as atividades humanas dependem de um ambiente construído, cujo tamanho é dado pela escala humana e pelo planeta e não pode ser miniaturizado, embora em muitos casos esteja sendo diminuída a quantidade de espaço disponível, para alguns extratos da população. O tamanho planetário do ambiente construído implica grande quantidade de materiais de construção, mão de obra, água, energia e geração de resíduos”.

O livro é dividido em sete capítulos, sendo o primeiro “Construção e desenvolvimento sustentável”. Neste capítulo se discute a sociedade e a sustentabilidade, oportunidades para inovação e a necessidade de visão sistêmica. Relata que a construção civil deve enfrentar um novo desafio, estabelecendo uma agenda com metas de curto, médio e longo prazo, propondo medidas e desenvolvendo programas que foquem a redução dos impactos ambientais relacionados a este setor.

No segundo capítulo “Construção e sustentabilidade – Um breve histórico”, relata a evolução histórica de conceitos que ajudam a compreender a importância do conceito de construção sustentável, iniciando na década de 1960 e 1970, quando ocorreu a crise energética desencadeada pela crise do petróleo da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Discorre que nos últimos vinte anos, a indústria da construção civil e o ambiente construído vêm sendo medido de forma mais precisa e está em constante crescimento. Este crescimento está associado à necessidade de oferecer à população ambientes saudáveis, confortáveis e seguro, incluindo habitação adequada, água potável e saneamento, entre outros. Esse capítulo faz um relato sobre a realidade brasileira atual e um resumo das atividades políticas e eventos que aconteceram relacionados ao tema.

A Contribuição da construção para as mudanças climáticas é tema do capítulo 3, relata sobre as emissões de CO₂ geradas através da indústria da construção civil e afirma que a construção em geral e o uso dos edifícios, tem grande contribuição para as mudanças climáticas.

Os capítulos 4 e 5 relatam sobre a cadeia produtiva de materiais de componentes e a sustentabilidade e durabilidade e construção sustentável, respectivamente. Concluindo os últimos temas, os capítulos 6 e 7, descrevem sobre a informalidade e a sustentabilidade social e empresarial e outras ações.

2.3.3.2 Guia de sustentabilidade na construção – Sinduscon MG

O guia de sustentabilidade na construção foi desenvolvido pelo Sindicato da Construção Civil (SINDUSCON) do estado de Minas Gerais em 2008. Apresenta o conceito de ciclo de vida para avaliação de impactos ambientais em edificações. As etapas das análises são divididas em concepção, planejamento/projeto, uso e ocupação, desconstrução. As recomendações são enquadradas nas etapas de concepção e planejamento/projeto.

Os temas abordados se resumem em qualidade de implantação, gestão de águas e efluentes, gestão de energia e emissões, gestão de materiais e resíduos sólidos e qualidade do ambiente interno. Na concepção do edifício são abordados aspectos estratégicos e conceituais, sendo que na etapa de planejamento e projetos, os aspectos são colocados em prática através de especificações detalhadas.

Com relação aos aspectos ambientais de sustentabilidade ligados à construção sustentável, o guia aponta aqueles citados pelos principais sistemas de avaliação de sustentabilidade e certificação voluntária de edifícios: BREEAM, CASBEE, GBTOOL e LEED :

- a) Qualidade da implantação.
- b) Gestão do uso da água.
- c) Gestão do uso de energia.
- d) Gestão de materiais e (redução de) resíduos.
- e) Prevenção de poluição.
- f) Gestão ambiental (do processo).
- g) Gestão da qualidade do ambiente interno.
- h) Qualidade dos serviços.

2.3.3.3 Teorias e práticas em construções sustentáveis no Brasil (Secretaria do Estado de Ambiente do Rio de Janeiro)

O relatório “Teoria e práticas em construções sustentáveis no Brasil” foi desenvolvido pela Secretaria do Estado de Ambiente do Rio de Janeiro em 2010. Esse documento serve como base para implementação de gestão e insumos para construção e compras públicas no Estado do Rio de Janeiro priorizando materiais e processos

com menor impacto ambiental. Neste documento são apresentadas as orientações teóricas e o levantamento das melhores práticas em construções sustentáveis e prioriza a prestação de serviços para obras públicas. O documento está descrito sob três aspectos:

- a) Elementos,
- b) Sistemas,
- c) Ferramentas,
- d) ambiente construído.

Os elementos e sistemas são apresentados a partir das questões como:

- a) energia,
- b) água,
- c) saneamento,
- d) materiais,
- e) resíduos.

As ferramentas são políticas públicas e instrumentos legais, compras públicas, análise de ciclo de vida, rotulagem e certificação e capacitação. No aspecto “ambiente construído”, são tratados os temas relativos ao planejamento urbano e mobilidade sustentável, habitação de interesse social, infraestrutura verde e operação e manutenção de prédios públicos, são tratados no item ambiente construído. Esse documento foi desenvolvido para subsidiar construções de obras públicas no estado do Rio de Janeiro com o propósito de minimizar impactos ambientais na região.

2.3.3.4 Ferramenta “Seis Passos” para seleção de insumos e fornecedores com critérios de sustentabilidade.

O CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) desenvolve, em 2011, uma ferramenta com seis passos para promover a legalidade, formalidade e a qualidade no setor da construção civil. Os seis passos são:

- a) Passo 1: Verificação da formalidade da empresa fabricante e fornecedora
- b) Passo 2: Verificação da licença ambiental.
- c) Passo 3: Verificação das questões sociais.

- d) Passo 4: Qualidade e normas técnicas do produto.
- e) Passo 5: Consultar o perfil de responsabilidade socioambiental da empresa
- f) Passo 6: Identificar a existência de propaganda enganosa

A ferramenta auxilia a escolha de empresas fornecedoras de produtos e soluções alinhadas aos princípios da sustentabilidade e é gratuita, está disponível no site do CBCS. O objetivo principal é conscientizar o setor da construção civil de que não há construção sustentável sem que haja o cumprimento de três condições: formalidade, legalidade e qualidade. Qualquer pessoa pode visualizar a forma de realizar suas compras atendendo aos critérios mínimos de sustentabilidade.

2.3.3.5 Reciclagem de resíduos na construção civil

Tese para obtenção do título de livre docência escrita por Vanderley John, em 2000, com o título: " Reciclagem de resíduos na construção civil." A pesquisa foi desenvolvida na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no departamento de Engenharia de Construção Civil. A pesquisa discute a reciclagem de resíduos como material de construção através do conceito de sustentabilidade. O objetivo da pesquisa foi elaborar uma metodologia para conduzir o processo de pesquisa e desenvolvimento de tecnologia visando à transformação do resíduo em material de construção. A metodologia proposta compreende as seguintes etapas:

- a) seleção e caracterização do resíduo a ser estudado
- b) levantamento de dados sobre a produção de resíduos
- c) inventário das alternativas de reciclagem
- d) seleção da alternativa para pesquisa e desenvolvimento
- e) desenvolvimento do produto
- f) avaliação do produto do ponto de vista de seu desempenho técnico e ambiental
- g) estudo de viabilidade econômica
- h) transferência da tecnologia para o mercado

Foram utilizadas como ferramentas de análise a análise de desempenho e análise do ciclo de vida.

A metodologia proposta busca garantir que o processo de reciclagem vai resultar em um produto com desempenho técnico adequado e em redução de impacto na sociedade. Para cada resíduo existem diferentes maneiras viáveis de reciclagem, mas é importante desenvolver regras que permitam identificar as características e os requisitos das aplicações.

2.3.3.6 Avaliação de sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.

Tese de doutoramento escrita por Vanessa Gomes da Silva, em 2003, com o título: *“Avaliação de sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica”*. A pesquisa foi desenvolvida na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no departamento de Engenharia de Construção Civil.

O principal objetivo dessa pesquisa é verificar se importar métodos estrangeiros existentes é a melhor solução para avaliar sustentabilidade em edifícios de escritórios no Brasil. A discussão metodológica dos sistemas de avaliação existentes e os estudos de casos realizados demonstram que:

- não é possível copiar, traduzir ou aplicar um método estrangeiro no contexto brasileiro.
- é fundamental desenvolver um método com prioridades, condições e limitações brasileiras.

O foco da pesquisa foi desenvolver um método capaz de ser aplicado ao longo do ciclo de vida. No modelo de avaliação sugerido, os limites do sistema foram definidos para abranger a etapa de construção e uso do edifício, assim como a avaliação dos agentes envolvidos no processo, iniciando pela empresa construtora. A estrutura de avaliação proposta foi construída a partir de uma agenda para a construção sustentável no Brasil; em instrumentos disponíveis para a avaliação integrada de itens ambientais, sociais e econômicos; e na análise dos métodos e normas internacionais relacionados ao tema.

A pesquisa conclui que o mercado não está preparado para, no curto prazo, medir ou ser avaliado através de um método sofisticado. Um método simplificado e uma estratégia gradual de implementação são propostos, apontando a direção para os desenvolvimentos futuros necessários.

2.3.3.7 Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.

Tese de doutoramento intitulada “*Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras*” desenvolvida por Sergio Fernando Tavares, em 2006, pela Universidade Federal de Santa Catarina, no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

O objetivo desta pesquisa é identificar e quantificar os eventos que influenciam o consumo de energia, em todas as suas fontes, ao longo do ciclo de vida de edificações residenciais brasileiras. É proposta uma metodologia para o cálculo do total de energia embutida na edificação em contraponto ao consumo operacional pelos usos finais de equipamentos da edificação. A metodologia é aplicada em cinco modelos que simulam as principais características físicas e ocupacionais das edificações residenciais brasileiras. Para este estudo é considerado um ciclo de vida de 50 anos. Como um parâmetro de sustentabilidade é calculada a geração de CO₂ por fases do ciclo de vida e materiais utilizados.

Os resultados entre os cinco modelos apresentam valores de consumo energético no ciclo de vida da ordem de 15,01 GJ/m² a 24,17 GJ/m², considerados baixos em comparação aos valores internacionais de países desenvolvidos, na ordem de 50 GJ/m² a 90 GJ/m²; porém as condições climáticas desses elevam o consumo operacional para climatização.

A Energia Embutida inicial variou de 4,10 GJ/m² a 4,90 GJ/m² e a total de 5,74 GJ/m² a 7,32 GJ/m². Tais resultados equivalem de 29% a 49% de todo o Ciclo de Vida, o que destaca a relevância dos estudos sobre Energia Embutida. O índice médio de retorno energético, ou seja, o tempo em que uma edificação acumula consumo operacional que supere a Energia Embutida é de 20 anos. A geração de CO₂ varia de 460 kgCO₂/m² a 567 kgCO₂/m² na fase pré operacional, valores semelhantes a de modelos internacionais. A relação da geração de CO₂ por energia consumida mostra um valor médio na etapa da Energia Embutida, 78,6 CO₂/GJ, superior a da fase operacional, 40,5 CO₂/GJ, reiterando a relevância da Energia Embutida pelo viés da sustentabilidade.

Para compor a análise dos resultados são consideradas as influências no consumo de energia pelas diferentes tipologias, renda familiar, número de habitantes e área construída, entre outros fatores; além da quantidade de energia consumida no

processo de fabricação dos materiais empregados e em etapas indiretas como o desperdício e transportes.

2.3.3.8 Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios de Florianópolis.

Tese de doutoramento escrita por Michele Fossati, em 2008, intitulada “*Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios de Florianópolis*”. A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Santa Catarina, no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

O objetivo principal dessa pesquisa é propor uma metodologia de avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios de escritórios, estabelecendo requisitos, critérios e parâmetros de desempenho que auxiliem na elaboração de novos projetos para edifícios de escritório. A avaliação é feita através de uma lista de verificação dividida em seis categorias:

- a) Uso e ocupação do solo;
- b) Água;
- c) Energia;
- d) Materiais;
- e) Recursos;
- f) Transporte e acessibilidade e
- g) Qualidade do ambiente interno;

A pesquisa foi baseada em requisitos de sustentabilidade retirados de diferentes metodologias internacionais e em documentos complementares como normas, legislações e publicações técnicas brasileiras. Os requisitos foram analisados por especialistas acadêmicos e técnicos para avaliação da sua relevância e adequação ao contexto brasileiro. Estes requisitos foram aplicados em 17 edifícios de escritórios de Florianópolis-SC para levantamento de dados para definição de parâmetros de referência que serviram de base para a proposição da metodologia de avaliação da sustentabilidade. Os principais resultados obtidos foram:

- a) a determinação, implementação e validação de requisitos e critérios para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios escritórios de Florianópolis, permitindo a aplicabilidade do método em outros locais onde se deseja realizar avaliações;
- b) a avaliação do panorama da construção de edifícios de escritórios de Florianópolis quanto à sustentabilidade, que se mostrou muito aquém do desempenho esperado;
- c) a definição de parâmetros de referência a serem atendidos por edifícios mais sustentáveis em Florianópolis;
- d) o estabelecimento de critérios para uma ferramenta de auxílio a projetistas no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis;
- e) a proposição de uma metodologia de avaliação da sustentabilidade de projetos de novos edifícios de escritórios de Florianópolis.

Com a conclusão das pesquisas percebeu-se que alguns construtores e projetistas desconhecem certos requisitos relacionados à sustentabilidade e o objetivo de avaliá-los e também as soluções técnicas e tecnológicas.

2.3.3.9 Análise de emissão de CO₂ na fase pré operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM.

Dissertação de mestrado desenvolvida por Micheline Helen Cot Marcos, em 2009 para o Programa de Pós Graduação em Construção Civil, da Universidade Federal do Paraná. Nesta pesquisa se analisa o setor da construção de habitações de interesse social, tão importante e necessária diante do grande número da população brasileira que usufrui desse setor.

O objetivo principal dessa dissertação é analisar, através de um sistema de BIM (*"Building Information Modelling"*), a emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção, em dois tipos de habitação de interesse social, uma construída nos métodos convencionais (paredes de alvenaria, cimento e argamassa) e outra utilizando painéis de madeira.

Através da revisão da literatura dos sistemas de produção dos materiais de construção utilizados nos dois modelos de habitação, inseridos em uma ferramenta BIM, foi possível quantificar o total de CO₂ incorporado para cada residência. O

estudo de caso do modelo convencional de construção de habitação de interesse social foi realizado na COHAB-CT (Companhia de Habitação de Curitiba), sendo que para o estudo de caso da construção em madeira foi utilizado um modelo protótipo de habitação social desenvolvido na tese de doutorado de Christine Laroca em 2005 (LAROCA, 2005).

Com base nos estudos de caso, na análise do quantitativo de materiais e da ferramenta BIM, foi possível quantificar o total de CO₂ emitido na fase pré-operacional do ciclo de vida da edificação. Como resultado observa-se que, uma unidade da casa construída de modo convencional emite aproximadamente seis toneladas de CO₂, sendo que a habitação em madeira emite em torno de duas toneladas.

Ferramentas BIM representam uma nova geração de ferramentas CAD orientadas ao objeto que gerenciam a informação da construção no ciclo de vida do projeto. Inicia-se um novo caminho a ser explorado pelos profissionais que atuam na área de Arquitetura, Engenharia e Construção em direção à colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação. Esta abordagem visa à competitividade e melhoria contínua no processo de desenvolvimento do projeto.

A análise de resultados teve início com o projeto da casa modelo convencional. Primeiro foi obtido o projeto da habitação, em seguida foram feitas medições no local para conferência do desenho fornecido pela empresa construtora. Em seguida, esses dados foram inseridos na ferramenta com tecnologia BIM, ArchiCad, para extração dos índices de emissão. Na sequência mostra o projeto inserido na ferramenta, uma breve explicação de como funciona o sistema, assim como os devidos índices de emissão.

A utilização de uma ferramenta BIM, como é o caso do ArchiCad, passa a ser um facilitador para o profissional projetista que, com um único desenho consegue obter informações importantes. Após as análises dos resultados das duas habitações, observa-se que as emissões na casa construída em alvenaria convencional são muito maiores do que na casa de madeira, isso ocorre em função dos materiais de construção utilizados em cada modelo.

A presente pesquisa faz parte de um processo de continuação dos estudos desenvolvidos durante o mestrado, utilizando sistemas construtivos diferenciados, assim como os impactos ambientais analisados.

2.3.3.10 Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de Sistemas Construtivos – aplicação em um sistema estruturado em aço.

Tese de doutoramento escrita por Danielly Borges Garcia, em 2011, através da Universidade Federal de Minas Gerais, na Escola de Engenharia de Estruturas. A pesquisa utiliza a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta de análise de impactos ambientais dos materiais de construção civil. Para avaliar o estudo de caso e também fazer uma ACV é proposto uma metodologia denominada Metodologia de Avaliação Ambiental de Sistemas Construtivos (MAASC), através do “software” SIMAPRO.

Para realização da proposta foram levantados dados de uma edificação em aço, suas entradas e saídas desde o processo de fabricação e beneficiamento do aço, a etapa de obra, uso e manutenção até o desmonte do edifício, incluindo a destinação final dos materiais.

A pesquisa conclui que é possível utilizar a ACV como direcionador para melhorias de sistemas construtivos. Como cada edifício é único, e seu sistema construtivo específico, a avaliação a partir das etapas de obra, uso e manutenção são únicas para o edifício em questão e contribuem para a identificação e minimização dos impactos ambientais. Vários ensaios podem ser feitos em etapa de projeto a fim de obter uma solução menos impactante.

A metodologia proposta contribui para o processo de integração de ferramenta de seleção de sistemas construtivos a partir de critérios ambientais, incorporando esses critérios ambientais a uma ferramenta BIM (“*Building Information Modeling*”).

O propósito dessa pesquisa é a divulgação de um conhecimento científico que viabilize sua aplicação por profissionais de mercado que devem projetar visando uma construção civil menos impactante no futuro.

2.3.3.11 Proposta de avaliação e classificação da sustentabilidade ambiental de canteiros de obras. Metodologia ECO OBRA aplicada no Distrito Federal – DF.

Tese de doutoramento escrita por Jorge Antonio da Cunha Oliveira, em 2011, desenvolvida na Universidade Federal de Brasília (UNB), no programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil.

O objetivo principal dessa pesquisa se resume em desenvolver uma metodologia de avaliação da sustentabilidade ambiental em canteiros de obra na fase de execução, denominado ECO OBRA. Essa metodologia é uma ferramenta de avaliação computacional que pontua e classifica canteiros de obra em relação à sustentabilidade ambiental e apresenta soluções e estratégias que contribuam para redução de impactos ambientais. Para aplicação e teste da ferramenta, foi realizado um diagnóstico ambiental nas empresas construtoras onde foram avaliados os critérios de gestão das águas, gestão de energia e resíduos sólidos dentro do canteiro de obras.

A metodologia ECO OBRA foi desenvolvida para avaliar impactos ambientais no canteiro de obras onde:

- a) médias menores que 5: o canteiro era classificado com ambientalmente inviável;
- b) médias maiores que 5 e menores que 7,5: pouco sustentável;
- c) médias menores que 9 e maiores que 7,5: canteiro sustentável e
- d) médias maiores que 9: canteiro de obras com grau de excelência em sustentabilidade.

Os canteiros analisados na pesquisa obtiveram resultados abaixo que 5, ou seja, ambientalmente inviável. Esse resultado emite uma análise de que as empresas precisam se adequar o quanto antes a modernos processos de construção com menores impactos ambientais.

As pesquisas citadas evidenciam a importância de aplicação de análise de desempenhos ambientais no setor industrial, e em especial à indústria da construção civil, visto que a maneira como as edificações são projetadas, construídas e operadas influencia diretamente no consumo de recursos naturais, no conforto e na saúde da população.

2.4 Conclusão

Descrever sobre impactos ambientais relacionados à construção civil implica em compreender a responsabilidade que o setor proporciona ao se discutir e pesquisar esse tema. Apesar de consumir boa parte dos recursos naturais, a indústria de materiais de construção representou 1,5% do PIB brasileiro de 2013. (ABRAMAT; FGV, 2014).

No Brasil, a expectativa é que o setor da construção dobre de tamanho entre 2009 e 2022 (FGV, 2014). Mantidas as atuais práticas do setor, esse crescimento deverá agravar os problemas ambientais e sociais relacionados aos materiais de construção. Inovações são, portanto, necessárias. O setor de materiais e componentes de construção envolve desde atividades extrativas até parcelas da indústria química. No entanto, madeira, materiais cimentícios, cerâmica vermelha e aço são responsáveis pela maior parte da massa dos produtos da construção (CBSC; PNUMA, 2014).

Como estudo de caso para essa pesquisa foram analisadas dois sistemas construtivos: alvenaria convencional e sistema “*steel frame*”. Optou-se pela alvenaria convencional por ser um sistema construtivo bastante utilizado e conhecido no país, sendo do primeiro, o tijolo de barro o principal material e o sistema “*steel frame*” por ser considerada uma nova tecnologia construtiva onde o aço é o principal material.

3 SISTEMAS CONSTRUTIVOS

3.1 Introdução

De acordo com Garcia (2011), o conceito de sistema construtivo é de origem grega e significa reunião, grupo, associação. Sistema construtivo é o conjunto de elementos que, integrados formam a edificação. O resultado depende não só de cada um dos materiais, mas da forma de junção entre esses materiais, ou seja, da técnica construtiva empregada. Sistema construtivo é um conjunto de processos construtivos, um sistema de produção cujo produto é o próprio edifício.

De acordo com Matheus (2004), a combinação de materiais utilizados na fabricação dos elementos de construção de um edifício, denomina-se **solução construtiva**. A combinação das soluções construtivas utilizadas na definição dos principais elementos da construção: pavimentos, paredes e coberturas; é conhecida por **sistema construtivo**. Existem atualmente exemplos de novos sistemas construtivos sendo estudados e aplicados, além disso, está ocorrendo o ressurgimento de algumas soluções antigas e que foram praticamente abandonadas, como o Adobe⁵, a Taipa⁶ e a madeira.

Assim, o sistema construtivo é uma parte do edifício, composta de materiais modificados por processos e interações, que executa determinada função. Cada um desses sistemas é formado por componentes, elementos e materiais, que possuem uma complexidade de montagem. O sistema de vedação em alvenaria, por exemplo, sejam estes cerâmicos, em concreto ou outro material, para compor todo sistema é necessário utilizar argamassa de assentamento, emboço, reboco, pintura e revestimento (GARCIA, 2011).

Os sistemas construtivos podem ser classificados em abertos ou fechados. Os sistemas construtivos fechados são sistemas cujos componentes são predefinidos, permitindo poucas variações de materiais. Um exemplo é o “*steel frame*”, um sistema construtivo composto vedações externas estruturais em perfis galvanizados, placas de madeira especial, isolamento térmico e vedação interna em gesso acartonado ou placa cimentícia.

⁵ O adobe tem sua constituição físico – química básica: a silta ou argila fina, argila, areia, cascalho e água (IPHAN, 2000).

⁶ Técnica construtiva à base de argila e cascalho.

Nos sistemas construtivos abertos, a montagem é baseada na seleção dos subsistemas independente. No Brasil são utilizados com mais predominância sistemas construtivos abertos, nos quais se define uma estrutura, um tipo de vedação e uma cobertura. Nesse tipo de sistema ocorre uma variação da combinação de insumos e técnicas (GARCIA, 2011).

As especificações de materiais componentes de um sistema construtivo devem ser feitas de forma a considerar os diferentes aspectos de construção e de desempenho no uso. Entretanto, essa não é a realidade da construção civil brasileira. Na falta dessa visão, o setor da construção civil é o maior gerador de resíduos sólidos (JOHN, 2000). Isso ocorre em função da falta de planejamento dos processos construtivos, das incompatibilidades dimensionais entre os elementos e do uso do canteiro de obras para fabricação de alguns componentes, como o concreto. Os processos construtivos convencionais não garantem que a combinação entre os materiais de qualidade e a execução resulte em um sistema padronizado, além da variabilidade humana já mencionada.

Entretanto, diante da crescente demanda do mercado por novas edificações e da disponibilidade técnica de alternativas, várias correntes desse setor têm se mostrado abertas ao emprego de soluções industrializadas. Sistemas construtivos com concepção racionalizada têm ganhado espaço conforme cresce a aceitação da tecnologia por parte dos setores produtivos e, principalmente, dos consumidores.

De acordo com o CBCA (2014), a construção civil é hoje o mais importante setor consumidor de aço no mundo. O país tem assistido a um crescimento da construção com tecnologia “*steel frame*” especialmente como solução para habitações de interesse social, residências unifamiliares de grande porte, edifícios comerciais e hotéis. Desde o início dos anos 1990, o “*steel frame*” tem sido aplicado em edificações destinadas aos padrões de renda média e alta. Com a difusão do sistema e o consequente aumento da escala de produção dos materiais nele utilizados, o custo final da construção, com esse sistema construtivo, diminuiu, permitindo o seu emprego em maior escala.

A evolução do sistema “*steel frame*” no Brasil segue o mesmo percurso de outros países, onde as grandes empresas siderúrgicas e de transformação do aço foram as responsáveis pelos passos iniciais para a implantação do sistema.

De acordo com Moynihan; Allwood (2012), metade da produção anual mundial de aço é usada na construção civil e infra estrutura, sendo que a demanda em sua

produção tem perspectiva de dobrar o crescimento até 2050. Enquanto em países europeus a média de consumo per capita passa de 400 kg/ habitante, no Brasil se mantém em torno de 100 kg nos últimos 30 anos, o que mostra a possibilidade de crescimento do mercado interno de aço para o desenvolvimento econômico do país. O Brasil produz aço para atender a diversos tipos de mercados o que movimenta uma ampla variedade de setores. A construção civil, o setor automotivo e o setor de bens de capital têm participação expressiva no consumo de produtos siderúrgicos. Dados de 2010 indicam que estes setores representam, juntos, mais de 79% do consumo total de aço (IAB, 2012).

Na Figura 2 observa-se que o setor da construção civil é responsável por 31,6% da produção de aço no país.

Figura 2. Distribuição do consumo de produtos siderúrgicos no Brasil
Fonte: Relatório de Sustentabilidade 2012, Instituto Aço Brasil (2012).

De acordo com o Instituto Brasileiro do Aço (IAB, 2012), o país possui o maior parque industrial de aço da América do Sul, se enquadra como o maior produtor da América Latina e ocupa o quinto lugar como exportador e nono como produtor mundial de aço.

No entanto, a construção de pequeno porte no Brasil ainda é predominantemente não industrializada, caracterizada pela baixa produtividade e, principalmente, pelo

desperdício. Porém, o mercado tem sinalizado que esta situação deve ser alterada e que o uso de novas tecnologias é a melhor forma de permitir a industrialização e a racionalização dos processos (FREITAS; CRASTO, 2006).

Segundo o mesmo autor, o caminho para mudar tal quadro passa necessariamente pela construção industrializada, com mão-de-obra qualificada, otimização dos custos mediante a contenção do desperdício de materiais, padronização, produção seriada e em escala, racionalização dos processos e cronogramas rígidos de planejamento e execução. O uso de novas tecnologias é a melhor forma de alcançar a racionalização de processos e focar as expectativas do mercado. Entre tecnologias disponíveis, a escolha do sistema “*steel frame*” foi fundamentada por características, tais como: sistema internacionalmente conhecido, insumos industrializados (que possibilitam controle de qualidade), facilidade na obtenção dos perfis de aço no mercado nacional e facilidade de montagem.

Sendo assim, essa pesquisa utiliza como estudo de caso dois tipos de sistemas construtivos: um sistema considerado tradicional: formada por pilares, vigas e lajes de concreto, sendo que os vãos são preenchidos com tijolos cerâmicos para vedação e o sistema industrializado “*steel frame*”, onde é utilizado o aço leve (“*light*”) e as vedações internas em gesso acartonado e externas em placas cimentícias.

3.2 Características do sistema “*Steel Frame*”

Com o crescimento populacional e o avanço tecnológico, a indústria da construção civil tem buscado sistemas mais eficientes de construção, com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir o desperdício (CBCA; 2012).

A palavra “*Steel*” significa a matéria prima usada na estrutura, o aço. A inclusão de “*Light*” significa leve, indica que os elementos em aço são de baixo peso uma vez que são produzidos a partir de chapa de aço com espessura reduzida. A palavra “*Frame*”, significa estrutura. Nessa pesquisa foi utilizado o sistema “*steel frame*” com estrutura em aço leve, então pode-se assim denominar: “*light steel frame*”.

O sistema “*Light Steel Framing*”, é um sistema construtivo de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado que são utilizados para a composição de painéis estruturais e não-estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e demais

componentes (Figura 3). Por ser um sistema industrializado, possibilita uma construção a seco com rapidez de execução, por isso o sistema "*Light Steel Framing*" pode ser conhecido por Sistema auto-portante de construção a seco.

Figura 3. Estrutura de residência em *light steel frame*. Moradia construída para habitação de interesse social, em Curitiba – Paraná.

Fonte: A autora, 2012

Conforme CBCA (2012), o sistema "*light steel frame*" é composto por componentes e subsistemas, entre eles: estrutural, fundação, isolamento termo-acústico, fechamento interno e externo, instalações elétricas e hidráulicas.

O sistema possui como características: durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental. Por durabilidade entende-se o período, contado a partir do da construção da edificação, até o momento em que o edifício deixa de cumprir as funções que lhe foram atribuídas. A manutenibilidade é a capacidade do edifício de permitir inspeções prediais e intervenções de manutenção previstas. Quanto à adequação ambiental do sistema "*light steel frame*", de acordo com a ABNT NBR 15575:2013, tem como quesitos:

- a) implantação de empreendimentos com o mínimo de alteração no ambiente natural;
- b) seleção e o consumo de materiais que possuam um menor impacto ambiental, desde a extração até sua utilização final;
- c) utilização de madeiras que sejam certificadas, que não estejam enquadradas na lista de extinção;
- d) utilização de um sistema de gestão de resíduos na obra e a avaliação de inventários de ciclo de vida dos materiais na sua seleção;
- e) gerenciamento da água na obra e no uso do edifício e do consumo energético;

No quesito, seleção e consumo de materiais, recomenda-se que os empreendimentos sejam construídos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias-primas. Na medida das possibilidades, devem ser privilegiados os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais à sua utilização final.

Figura 4. Critérios de sustentabilidade da norma NBR 15575-201
Fonte: ABNT NBR 15575-2013

Para que o sistema obtenha êxito no resultado para o qual foi projetado e construído, é necessário que os subsistemas estejam corretamente interligados e que os materiais utilizados sejam adequados. Assim, a escolha dos materiais e de mão de obra qualificada é essencial na velocidade da construção e no desempenho do sistema (CBCA, 2012).

Figura 5. Ampliação de escola em “*light steel frame*” com detalhe da montagem dos perfis.

Fonte: A autora (2014)

O “*light steel frame*” é um sistema muito utilizado em países onde predomina a industrialização da construção civil sendo que, no Brasil, os métodos de construção são considerados artesanais. Utiliza perfis de aço leve que integra os componentes necessários à construção de uma edificação, inclusive a estrutura.

Na **Figura 6** observa-se esquematicamente a estrutura e subsistemas de uma construção com sistema “*light steel frame*”. A estrutura é composta de paredes, pisos e cobertura que, juntos possibilitam a integridade estrutural da edificação, resistindo aos esforços que são solicitados pela estrutura (CBCA, 2012).

As paredes que constituem a estrutura são os painéis estruturais ou auto portantes e são compostos por perfis de aço galvanizado leve formando os montantes que são separados entre si de 40 a 60 cm, conforme detalhado na **Figura 7**. Essa dimensão é definida de acordo com cálculo estrutural e determina a modulação do projeto. A utilização da coordenação modular em projetos arquitetônicos gera um melhor aproveitamento dos componentes construtivos e a otimização do consumo de matérias primas e consumo energético para produção desses componentes (GREVEN; BALDAUF, 2007).

Figura 6. Esquema ilustrativo do sistema light steel frame com subsistemas
Fonte: CBCA (2012)

Para se projetar um edifício com sistema construtivo em “*steel frame*”, é recomendado o uso de novas ferramentas projetuais com tecnologias de Modelagem da Informação do Edifício (“*Building Information Modelling*” – BIM), pois essas ferramentas permitem a abordagem de questões ambientais, juntamente com todos os detalhes do projeto. Com o uso de ferramentas BIM, cada elemento de um conjunto de paredes pode ser criado com uma ampla quantidade de informações sobre os produtos, havendo uma maior integração de projeto e produção. (CONSTRUCTION SPECIFIC; 2015).

Figura 7. Esquema detalhado de um painel com montante em “*light steel frame*”.
Fonte: CBCA (2012)

3.2.1 Acompanhamento de uma obra em “steel frame”

A seguir observa-se o projeto arquitetônico e as imagens de uma residência especificada em “steel frame”, projetada para uma habitação de interesse social, construída pela Companhia de Habitação da cidade de Curitiba, Paraná.

Figura 8. Planta baixa "em steel frame"

Fonte: Desenhos fornecidos pela Construtora Bricka, 2011

Na planta baixa mostrada na **Figura 8**, observa-se as simbologias, P-1, P-2, P-4, e assim por diante. Essas simbologias significam os painéis que serão produzidos na

fábrica e transportados prontos para montagem no canteiro de obra. Cada parede é um painel, com ou sem aberturas para as janelas e portas.

Na **Figura 9**, está detalhado o painel número 9, onde estão presentes cinco montantes e duas guias, sendo uma inferior e outra superior. Nas guias são fixados os montantes e ambos possuem função estrutural.

Figura 9. Detalhe do painel 9

Fonte: Desenho fornecido pela construtora Bricka, 2011

Figura 10. Detalhe do painel 4B, com abertura para janela.

Fonte: Desenho fornecido pela Construtora Bricka, 2011.

QUANTITATIVO			
TIPO	PERFIL	COMPRIMENTO	QUANTIDADE
GUIA INF/SUP	90GE	2534	2UN
GUIAS JANELAS J5	90GE	1410	2UN
VERGA JANELA J5	L150-0,5	1295	1UN
MONTANTE PD	90ME	2430	9UN
MONTANTE PEITORIL J5	90ME	1100	2UN
MONTANTE VERGA JANELAS	90ME	320	2UN
FITA	F50	1385	2UN
GUIA DE TRAVAMENTO	90ME-0,5	150	5UN

Figura 11. Quantitativo de materiais referente ao Painel 4B.

Fonte: Construtora Bricka, 2011.

Na **Figura 10**, observa-se o detalhe do painel 4B, que mostra abertura para instalação de janelas e na **Figura 11**, está demonstrado um quantitativo de materiais referente a esse mesmo painel.

O início das obras começa pela demarcação do perímetro da residência e execução da forma para instalação do radier e passagem da tubulação hidráulica e elétrica.

Figura 12. Preparação do terreno e passagem da tubulação hidráulica.

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

Figura 13. Preenchimento do radier e compactação do solo.

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

Figura 14. Colocação da manta impermeabilizante e da malha de ferro para estruturar o radier.

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

Figura 15. Confeção dos painéis na fábrica
Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

Os painéis se constituem nas paredes da edificação e podem ser estruturais ou de vedação. Os painéis estruturais são como os pilares e as vigas e funcionam de forma similar ao sistema de alvenaria estrutural e os não estruturais ou de vedação apenas fazem o papel das paredes ou divisórias (CBCA, 2012). Como mostra a **Figura 16**, esses painéis são produzidos na fábrica e transportados até o local da obra.

Figura 16. Painéis sendo transportados para a obra.
Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

Figura 17. Concretagem do radier e colocação dos painéis.
Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

A **Figura 17** mostra a concretagem do radier e início da colocação dos painéis. Os painéis são fixados nas guias através de um conector metálico com parafusos conforme aparece na **Figura 18**.

Figura 18. Fixação dos painéis nas guias.
Fonte: CBCA, (2012) com alteração realizada pela autora (acréscimo de foto real ao lado esquerdo do desenho)

Figura 19. Montagem dos painéis

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal.

Os painéis estruturais, conforme **Figura 20**, são portantes e distribuem a carga da edificação de maneira uniforme sobre o solo, diferente das estruturas em concreto onde os pilares descarregam sobre o solo uma carga pontual. Para esse projeto foi necessário um montante a cada 60 cm.

Figura 20. Esquema de painel em steel frame.

Fonte: CBCA, (2012)

Na **Figura 21**, tem-se a montagem da cobertura em estrutura metálica, onde a telha especificada, para esse caso, é uma telha em aço parafusada diretamente nos caibros.

Figura 21. Montagem da cobertura metálica e colocação das telhas.

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal.

Figura 22. Aplicação da membrana (foto e detalhamento sem escala).

Fonte: foto: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011) e detalhe: CBCA (2012)

A membrana, mostrada na **Figura 22**, é hidrófuga, feita com poliuretano de alta densidade e reveste toda a área externa na edificação. A membrana hidrófuga aplicada em paredes externas atua como barreira contra vento, poeira, vapor d'água e calor. Permite a saída do vapor d'água do interior das paredes evitando o acúmulo de umidade e a proliferação de fungos.

Figura 23. Aplicação do revestimento externo: placa cimentícia.

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal

Figura 24. Detalhe do sistema de revestimento externo: placa cimentícia.

Fonte: Bricka (2015).

A placa cimentícia foi utilizada como revestimento externo, sendo composta de concreto leve aditivado revestida com uma tela de fibra de vidro e concreto alisado de alta densidade, como mostram as Figuras 23 e 24.

O acabamento externo foi feito com pintura em tinta acrílica (Figura 25).

Figura 25. Obra finalizada.

Fonte: Arquiteta Fabiani Franzen, (2011). Acervo pessoal.

O mercado brasileiro tem mostrado que o uso de novas tecnologias construtivas e projetuais é a melhor forma de permitir a industrialização e a racionalização dos processos. Uma observação importante é que a utilização do aço como sistema construtivo demanda profissionais preparados, projetos detalhados e integrados, como ocorre com as ferramentas BIM. Nesse aspecto o uso do aço na construção civil se torna uma das alternativas para mudar o panorama do setor (CBCA, 2012).

4 FERRAMENTAS DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DO EDIFÍCIO (“*Building Information Modeling*” – BIM) NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

As ferramentas computacionais de apoio ao processo de projeto de edificações são atualmente, indispensáveis para a indústria da construção, mas as com tecnologias BIM ainda são pouco exploradas pelos profissionais do setor. As ferramentas BIM ocupam uma parcela reduzida no mercado de softwares para projeto.

Desempenho, sustentabilidade ambiental de edifícios e BIM (“*Building Information Modeling*”) são assuntos em evidência no setor de edificações e ferramentas com tecnologia BIM têm sido apontado como solução aos agentes, que permitem o trabalho integrado, a fácil identificação de incompatibilidades entre os diversos projetos, a simulação ambiental do edifício, a extração de quantitativos, entre outros (PAULA; UECHI; MELHADO, 2013).

“*Building Information Modeling*” (BIM) é um processo focado no desenvolvimento, utilização e transferência de um modelo de informação digital de um projeto de construção para melhorar a concepção, construção e operação de um projeto. A comissão “*National Building Information Modeling Standards*” (NBIMS, 2007), define BIM como uma maneira fácil e funcional de representação digital. BIM é um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações e formar uma base confiável para decisões durante o processo de projeto. A premissa básica do BIM é facilitar a colaboração de diferentes atores (“*stakeholders*”) em diferentes fases do ciclo de vida, para inserir, extrair, atualizar ou modificar as informações.

Ferramentas “*Building Information Modeling*” (BIM) representam uma nova geração de ferramentas computacionais orientadas ao objeto que gerenciam a informação da construção no ciclo de vida do projeto. É um novo caminho a ser explorado pelos profissionais que atuam na área de Arquitetura, Engenharia e Construção em direção à colaboração, interoperabilidade e reutilização da informação. Esta abordagem visa à competitividade e melhoria contínua no processo de desenvolvimento do projeto (MARCOS, 2009).

Na fase de projetos são definidas as principais diretrizes dos empreendimentos na indústria da construção. Ela tem influência direta nos custos, prazos e métodos de produção (MELHADO, 1994; TZORTZOPOULOS, 1999; MELHADO e AQUINO, 2001; BERTEZINI, 2006).

Portanto, um bom processo de projeto conduzido com o auxílio de ferramentas de tecnologia de informação adequadas, é um item fundamental para a qualidade dos processos de construção das edificações (MOUM, 2006).

Em 1982, o “*Construction Industry Institute*” (CII), dos Estados Unidos, publicou um relatório defendendo os benefícios obtidos pelo investimento na qualidade do projeto, no sentido de racionalizar a construção civil. No relatório foi estimado que o investimento na melhoria dos projetos pode resultar em uma economia de até vinte vezes o seu valor na fase de execução das obras. Cinco anos após, o CII publicou um guia para implementação dos conceitos de construtibilidade: a capacidade do projeto em fomentar a economia de recursos, segurança e facilidade de uso do edifício, atendendo às especificações do cliente. Dos quatorze tópicos abordados neste guia, seis pertencem à fase de concepção do projeto, sete pertencem à fase de desenvolvimento do projeto e contratação de empreiteiros, e apenas um à fase de execução da obra.

No Brasil, o Programa Setorial de Qualidade, definiu a melhoria dos projetos como elemento essencial na obtenção de maior qualidade e processos mais racionalizados na indústria da construção.

O processo de projeto é essencialmente uma sequência de aprimoramentos em um conjunto de informações a ser transmitido para as fases subsequentes. Mesmo pequenos projetos na indústria da construção produzem uma enorme quantidade de informação, e por isso os benefícios do uso de tecnologias da informação são importantes.

Entretanto, há uma grande distância entre a pesquisa em tecnologia da informação aplicada à construção civil e os métodos realmente praticados pela indústria no cotidiano, tanto no Brasil como nos outros países. A indústria da construção tem um caráter conservador, o que torna difícil a incorporação dos avanços e a mantém tecnologicamente atrasada em relação a outros segmentos da indústria.

Tanto os sistemas que utilizam objetos paramétricos quanto os baseados em primitivos geométricos surgiram no início da década de 1980. Contudo, a capacidade de processamento necessária para a representação de primitivos geométricos é muito menor, e por isso o CAD⁷ geométrico se adaptou melhor aos equipamentos disponíveis na época, dominando o mercado de softwares de projeto pelas duas

⁷ CAD (“*Computed Aided Design*”): Desenho Assistido por Computador.

décadas seguintes (TSE et al., 2005). No final da década de 1990, pressões por maior produtividade e qualidade nos processos projetuais e construtivos, além da popularização dos computadores com maior capacidade de processamento, fizeram ressurgir a discussão iniciada nos anos 80 a respeito das duas abordagens empregadas pelos CADs. A abordagem por objetos paramétricos nos CADs é agora denominada BIM (TSE et al., 2005).

O princípio da abordagem BIM é auxiliar no processo de criação e gerenciamento de informações relacionadas à construção, de modo integrado, reutilizável e automatizado, gerando um modelo digital do edifício ao invés de uma série de desenhos. (LEE et al., 2006).

Dentro das inovações da Tecnologia da Informação, a tecnologia CAD é considerada uma das mais importantes das últimas quatro décadas. As tecnologias CAD oferecem recursos como: ferramentas de automação de desenho e projeto, ferramentas de comunicação e compartilhamento de projeto e banco de dados.

Um histórico da evolução dessas tecnologias revela três gerações distintas: a primeira geração é composta pelo desenho auxiliado por computador; a segunda pela modelagem geométrica; e a terceira pela modelagem de produto. A terceira geração da tecnologia CAD teve o seu início no final da década de 80 e o principal objetivo foi a integração de informações geométricas com dados não geométricos através do estabelecimento de relacionamentos associativos e paramétricos. As informações geométricas abrangem as características espaciais do objeto como a forma, a posição, e as dimensões. Dados não geométricos incluem características como custo, material, peso, resistência, entre outros (KALE; ARDITI, 2005).

No processo utilizando a tecnologia BIM, os modelos virtuais podem ser entendidos como bases de dados onde são armazenados tanto os dados geométricos, como os textuais de cada elemento construtivo utilizado no projeto. A combinação desses dados permite a extração automática de documentos como plantas, cortes, perspectivas ou quantitativos. A atenção do projetista é, portanto, destinada primordialmente às soluções projetuais e não aos desenhos técnicos, que são em boa parte gerados automaticamente pela ferramenta (BIRX, 2006).

Em alguns casos interpreta-se o BIM como uma aplicação computacional, uma ferramenta que, como tal, deve ser usada mas não deve influenciar as grandes diretrizes de gerenciamento do trabalho de projeto e construção. No entanto, o arranjo de informações para construção é uma tarefa da qual dependem diversos

conceitos altamente elaborados. Essa tarefa só pode ser conduzida graças às novas ferramentas computacionais. No entanto, formular e utilizar um BIM corretamente influencia a maneira de trabalhar nos empreendimentos de construção.

As vantagens do uso da modelagem vão muito além da criação de maquetes eletrônicas e agilização do processo de produção de documentações projetuais. Assim como nas indústrias metal-mecânica, manufatureira e aeroespacial, a visualização tridimensional do modelo permite verificar as inadequações e incompatibilidades instantaneamente, auxiliando nos processos de decisão de maneira intuitiva, em todas as etapas do projeto.

Outro ponto importante é a consolidação das informações que constituem o projeto. Uma vez que se utiliza uma base de dados unificada para todo o conteúdo de informação, as modificações em um determinado documento (por exemplo, uma planta baixa do projeto arquitetônico), propagam-se para os demais documentos envolvidos automaticamente, garantindo assim a agilidade nas atualizações, modificações e confiabilidade no acesso às informações.

Algumas ferramentas informatizadas disponíveis no mercado, como, por exemplo, Sima-pro⁸, Gabi IV⁹, Team¹⁰ e Umberto¹¹, podem facilitar a operação. Elas normalmente contêm bancos de dados atualizados de fluxos elementares de produtos:

- a) (Ecoinvent ([http:// www.ecoinvent.ch/](http://www.ecoinvent.ch/)),
- b) Buwal ([http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/ index.html](http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/index.html)),
- c) Franklin (<http://www.fal.com/>)

Além disso, gerenciam modelos de avaliação de impacto ambiental. Todos os sistemas citados permitem a incorporação e a atualização de dados. Ou seja, pode-se realizar uma de impactos ambientais a partir de dados estocados nos bancos pré-existentes ou então executá-la a partir de dados de campo, específicos a uma situação de interesse. De forma similar, a análise também foi aplicada a outros elementos construtivos, tais como janelas emolduradas em PVC ou outros materiais, como alumínio (EUROPEAN COMMISSION, 2004), e em diferentes sistemas estruturais de madeira, aço ou concreto (BUCHANAN; HONEY, 1994 apud

⁸ SIMAPRO: Disponível em: (<http://www.simapro.com>)

⁹ GABI IV: Disponível em: (<http://www.pe-europe.com>)

¹⁰ TEAM: Disponível em: (www.ecobalance.com/uk_team.php)

¹¹ UMPERTO: Disponível em: (<http://www.umberto.de/>)

GLOVER, 2001). Nesses exemplos o consumo energético e de matéria-prima é analisado juntamente com os impactos ambientais resultantes dos processos de produção desses elementos, componentes ou sistemas.

BIM requer de seus usuários habilidade de domínio específico para que os objetos modelados mostrem o comportamento inteligente, impondo uma prática que vai mais além do que as questões operacionais do trabalho. A linguagem passa a ser vista não apenas no seu aspecto descritivo, mas como uma forma de ação dirigida para uma orientação mútua, com geração do conhecimento e troca das informações para a melhoria da qualidade final do projeto. Neste sentido, o presente trabalho propõe apresentar os resultados da pesquisa através do uso de uma ferramenta BIM.

As ferramentas BIM representam um novo caminho para a representação do Edifício Virtual, onde objetos digitais são codificados para descrever e representar componentes do ciclo de vida da edificação.

Essa pesquisa utiliza de uma ferramenta com tecnologia BIM, como parte da metodologia desenvolvida, para obter dados de impactos ambientais, no momento do desenvolvimento do projeto: CO₂ e energia incorporados.

4.1 Modelagem do produto em ferramentas BIM

A modelagem de produto na construção é o processo de gestão de toda a informação produzida e utilizadas nas diferentes fases do ciclo de vida da edificação, através de um modelo que representa suas características físicas e funcionais (EASTMAN, 1999). Novas aplicações podem ser desenvolvidas através do mapeamento da interoperabilidade e assim eliminar a prática onerosa e demorada de criar várias rotinas de processo de projeto para se obter um mesmo resultado (NIBIS, 2007).

De acordo com Scheer; Ayres (2007) e Marcos (2009), a visualização em três dimensões acrescentada pelo uso de um CAD 3D aumenta a quantidade de informações do projeto. Entretanto, os CADs 3D apresentam a mesma característica de fragmentação da informação dos CADs geométricos, tornando difícil a produção de informações estruturadas, que normalmente constituem o núcleo da documentação de um projeto (plantas, cortes, elevações, etc.).

Faltam mecanismos que permitam a seleção e visualização parcial das informações, que são essenciais ao projeto arquitetônico. Enquanto em um CAD geométrico a

informação pode ser compartimentada em arquivos diferentes, a representação tridimensional de um edifício só faz sentido se o elemento representado for o mesmo tanto no arquivo quanto no edifício construído.

Apesar de ser uma vantagem em relação ao CAD geométrico, a presença de todos os elementos geométricos em um mesmo local não garante a estruturação e a possibilidade de extração de informações, principalmente na forma de documentação projetual.

Cada elemento construtivo tem características e representações próprias, e o CAD considera essas distinções na representação, melhora a qualidade da informação e facilita a geração dos desenhos. Essa distinção auxilia o usuário a perceber o tipo do elemento que está sendo apresentado, tornando as informações mais precisas e confiáveis.

Por exemplo, ao invés de representar paredes através de linhas paralelas, utiliza-se o elemento parede, que além de ser armazenado e interpretado pelo computador como a representação de uma parede, possui um comportamento específico que inclui: se estender apenas longitudinalmente (a extensão transversal é a espessura), possuir determinada altura, a capacidade de receber aberturas (portas e janelas), se associar corretamente a outros elementos parede (eliminando arestas desnecessárias nos encontros de elementos), etc.

Além disso, o elemento parede possui informações relativas à sua composição e aparência: material de acabamento, de revestimento, do núcleo; e também informações utilizadas na representação bidimensional do elemento: cor, espessura do traço, hachura, etc. (IBRAHIM et al., 2004).

Essas características específicas de cada objeto são chamadas de parâmetros, de onde surge o nome da representação virtual do elemento construtivo: objeto paramétrico. A riqueza de informações proporcionada pelo uso de objetos paramétricos possibilita a extração automática de diversos tipos de representações de determinado elemento construtivo, sem que haja a necessidade de redesenhá-lo. Como existem parâmetros que determinam a representação em cada situação (planta, corte, elevação e perspectiva, etc.), a visualização passa a ser função de uma escolha do usuário, e não da geração manual de um desenho adicional.

Uma detalhada representação tridimensional é essencial para qualquer sistema CAD BIM (LEE et al., 2006). Porém em projetos arquitetônicos, a visualização faz parte

de um processo conjunto de modificações e verificações sucessivas, que leva ao produto final (BOUCHLAGHEM et al., 2005)

As ferramentas BIM vão muito além da confecção de perspectivas ou maquetes eletrônicas. A geração de elementos tridimensionais pretende auxiliar a antever o resultado espacial das escolhas de projeto e eliminar as possíveis interferências entre os elementos construtivos e erros antes do início da construção.

Esse processo de análise prévia, baseada em modelos ou protótipos virtuais, já é prática comum nas indústrias manufatureira, metal-mecânica e aeroespacial, sendo conhecido como modelagem do produto (HUANG et al., 2007).

De acordo com (IBRAHIM et al., 2004), em ferramentas BIM, a modelagem do produto inclui o conceito de “edifício virtual”: um conjunto de objetos paramétricos representando a edificação em ambiente virtual. Desse conjunto de objetos são extraídas automaticamente as representações, documentações, relatórios quantitativos, especificações dos materiais, análises físicas, etc. Isso é possível porque as ferramentas BIM estruturam o modelo como bases de dados contendo as informações de cada objeto paramétrico e a partir do acesso centralizado à elas realizam-se processamentos complexos e a geração de documentações estruturadas automaticamente.

A centralização da informação permite que as atualizações sejam facilmente registradas e modificações em uma parte do projeto propagam automaticamente atualizações em outras.

O nível de informação pode ser controlado, de acordo com a necessidade, desde o layout do projeto até detalhamentos construtivos ou análises de desempenho ao final. Os objetos paramétricos podem também ser referências diretas a produtos desenvolvidos por fabricantes, como janelas, peças pré-fabricadas, acessórios, etc. Estes objetos e suas atualizações podem ser obtidos diretamente via internet e futuramente ajustarem de modo automático o seu comportamento aos aspectos do projeto (IBRAHIM et al., 2004).

Por exemplo, objetos representando peças estruturais, que se configuram automaticamente de acordo com os vãos e tipos de apoios definidos. Na Figura 26, é demonstrado como uma ferramenta BIM, facilita a visualização do projeto.

Figura 26. Exemplo de projeto realizado em ferramenta com tecnologia BIM. Modelo Virtual, planta baixa e corte.
Fonte: Scheer; Ayres (2007)

Para Birx (2006), BIM deve ser considerada uma evolução do processo de projeto, tendo em vista as novas possibilidades de visualização e processamento da informação. Entre as principais vantagens têm-se uma melhor coordenação dos elementos construtivos e suas interferências, redução das horas de trabalho, aumento da produtividade, desenhos e detalhamentos de melhor qualidade, controle centralizado do conteúdo e das versões dos documentos do projeto.

Uma desvantagem é que ainda ocupam uma parcela reduzida do mercado de softwares para projeto o que isola o profissional em relação ao restante da cadeia produtiva que utiliza outros tipos de ferramentas (BIRX, 2006).

Outros desafios a serem superados pela tecnologia incluem o custo dos equipamentos e treinamento, escassez de profissionais treinados, o estado ainda

incipiente de algumas ferramentas com tecnologia BIM e a definição de protocolos de interoperabilidade entre os diferentes sistemas.

4.1.1 Ferramenta BIM no desenvolvimento de projetos

Em ferramentas com tecnologia BIM, os usuários podem navegar através dos modelos virtuais usando diferentes visualizações que conciliam a facilidade de utilização com funcionalidades como:

- a) Edifício Virtual: a informação sobre o edifício fica concentrada em um banco de dados central e qualquer alteração feita é visível em todo o tipo de vistas, planos e modelos 3D do edifício.
- b) Objetos Inteligentes: os elementos de construção como portas, janelas, colunas entendem e reagem ao ambiente em que estão, acelerando o trabalho e facilitando a gestão do projeto.
- c) Trabalhar em 3 Dimensões: possibilidade de pensar e editar em modo 3D em tempo real.
- d) Visualização Instantânea: as ferramentas de renderização são muito simples de utilizar, havendo a possibilidade de criar animações de realidade virtual.
- e) Documentação eficiente: os documentos e dados necessários à construção do edifício (materiais, dimensões, custos, etc.) podem ser gerados a partir do modelo projetado.
- f) Trabalho em grupo: permite partilhar o projeto por vários profissionais envolvidos, distribuí-lo a clientes ou consultores ou ainda visualizá-lo via web.

É possível controlar o projeto mantendo a precisão e a eficiência na documentação. O banco de dados centralizado é vinculado às construções de cada projeto como paredes, andares, portas, janelas e coberturas. Os projetos em geral: cortes, plantas, listas de componentes, tabelas de esquadrias, maquetes eletrônicas, animações e cenas em realidade virtual, são gerados automaticamente.

Para ilustrar o uso dessa ferramenta, encontra-se a seguir, nas Figuras 27 e 28, duas imagens geradas através de uma ferramenta BIM. O projeto faz parte da pesquisa de mestrado de MARCOS, M. (2009) e demonstra um dos modos de visualização e como as especificações são mostradas.

Figura 27. Modelo de projeto com modelagem das informações.
Fonte: MARCOS, M. (2009)

Figura 28. Modelagem com informações.
Fonte: MARCOS, M. (2009)

As informações relativas ao que é selecionado são mostradas como, por exemplo, seleciona-se o elemento parede, então as informações como altura, largura, profundidade, especificação de material, acabamento e outras informações que se pode agregar ao banco de dados, aparecem no visor. No caso dessa pesquisa, informações relativas à energia embutida e CO₂ referente a cada material de construção utilizado para construir as casas estudadas, são agregadas ao banco de dados. Sendo assim, outros dados podem ser fornecidos à ferramenta e assim, obter mas resultados no processo de projeto.

O uso de ferramentas para avaliar impactos ambientais que agregam informações ao projeto desenvolvido facilita as análises de gastos energéticos, emissão de poluentes ao meio ambiente, entre outros fatores. Com isso, tem-se a possibilidade de atenuar problemas ambientais a partir do projeto, antes mesmo de se iniciar a obra.

5 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta uma descrição do método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho. O capítulo inicia com a descrição da escolha da filosofia e estratégia de pesquisa utilizada no seu desenvolvimento. Posteriormente são apresentados o delineamento do processo de pesquisa e a descrição das etapas e dos métodos e técnicas para a coleta de dados empregados.

5.1 Caracterização do problema de pesquisa

No campo da pesquisa, existe ampla literatura dedicada a buscar melhorias na concepção dos projetos. Porém, há um volume de literatura bem menor quando se trata especificamente das análises energéticas e de emissão de poluentes ao meio ambiente referente aos materiais e componentes da construção. É importante discutir os problemas e as soluções implementadas com profissionais e acadêmicos que desenvolvem pesquisas na área de construção civil. Assim, as novas gerações de arquitetos, engenheiros e tecnólogos poderão melhorar a prática profissional, incluindo soluções que diminuam os impactos ambientais na cadeia da construção civil (MARCOS, 2009).

Esta pesquisa contribui para o estudo, projeto e aplicação de técnicas construtivas em que as condições ecológicas e bioclimáticas sejam prioridades aliado ao uso de novas tecnologias projetuais. A pesquisa permite investigar e preservar as características significativas dos eventos da vida real, tais como ciclos de vida individuais e mudanças ocorridas em regiões urbanas.

O presente trabalho pretende fazer uma análise em um conjunto de habitações unifamiliares em condomínio residencial totalizando vinte casas. A proposta inicial foi projetada com sistema construtivo em alvenaria comum e foi realizado outro projeto com sistema construtivo “*steel frame*” e placa cimentícia como vedação externa. Os dois modelos foram projetados em ferramenta BIM, para verificar a possibilidade de aplicação do método em mais de um sistema construtivo e assim auxiliar profissionais a optarem por um sistema com menor impacto ambiental. Para essa pesquisa foi realizado estudo com energia e CO₂ incorporados nos materiais de construção.

A presente pesquisa pretende responder ao seguinte problema: *“Como obter dados de impactos ambientais relativos aos materiais de construção, durante o processo de desenvolvimento do projeto”*.

De acordo com Gil, (2002), esta pesquisa pode ser classificada:

- a) Quanto à natureza, como **Pesquisa Aplicada**, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos,
- b) Quanto à forma de abordagem do problema, como **Pesquisa Quantitativa**, pois requer o uso de métodos e técnicas estatísticas e segue um plano previamente estabelecido, e
- c) Quanto aos seus objetivos, como **Pesquisa Exploratória**, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, procurar novas introspecções, avaliar fenômenos em uma nova visão, descobrir o que está acontecendo, fazer perguntas. Envolve levantamento bibliográfico: entrevistas e análise de exemplos. Assume, em geral, as formas de Pesquisas Bibliográficas e Estudo de caso.

Trata-se de pesquisa exploratória, também porque o foco do trabalho é o estabelecimento de diretrizes, o que implica em entender a dinâmica do fenômeno sob análise muito mais do que estabelecer uma relação causal. As generalizações de um estudo com esta natureza são de natureza analítica e não estatística (YIN, 2005). Segundo Marconi e Lakatos (2003), estudos exploratórios contribuem para desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com o problema de pesquisa em seu ambiente real e, também, apontar outros problemas para pesquisas futuras, além de clarificar conceitos.

5.2 Escolha do método de pesquisa

A seleção do método de pesquisa utilizou como parâmetro principal a caracterização do problema: *“Como obter dados de impactos ambientais relativos aos materiais de construção, durante o processo de desenvolvimento do projeto”*.

Segundo Yin (2005) existem três condições que devem ser avaliadas para a definição do método de pesquisa. A primeira é o tipo de questão de pesquisa, a segunda é a extensão de controle que o pesquisador tem sobre os eventos comportamentais efetivos, e a terceira é o grau de enfoque nos acontecimentos históricos em oposição aos acontecimentos contemporâneos. Um esquema básico para a escolha do método a ser utilizado, é demonstrado no Quadro abaixo, utilizado como parâmetro para essa pesquisa, baseado em dados de Yin (2005).

ESTRATÉGIA	FORMA DE QUESTÃO E PESQUISA	EXIGE CONTROLE SOBRE EVENTOS COMPORTAMENTAIS?	FOCALIZA ACONTECIMENTOS CONTEMPORÂNEOS?
Experimento	Como e por que	Sim	Sim
Levantamento	Quem, onde, quantos e quando	Não	Sim
Pesquisa histórica	Como e por que	Não	Não
Análise de arquivos	Quem, o que, onde, quantos e quando	Não	Sim / Não
Estudo de caso	Como e porque	Não	Sim

Tabela 4. Situações para diferentes estratégias de pesquisa.

Fonte: Yin (2005)

Segundo Yin (2005), o estudo de caso como técnica de pesquisa é útil para explicar relações causais em situações da vida real que são complexas demais para utilizar estratégias experimentais ou de levantamento de dados. Também possibilita descrever um contexto da vida real no qual ocorreu uma intervenção ou explorar intervenções onde não existe clareza no conjunto de resultados. Além disso, a pesquisa se ocupa de um fato contemporâneo que faz parte da vida real presente nos conjuntos habitacionais, órgãos públicos, governo federal, estadual e prefeituras, construtoras e o usuário e, para concluir, o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos pesquisados.

Assim, por meio deste método de estudo de caso, os objetivos e as questões do problema estabelecido podem ser atendidos de forma satisfatória, dentro das

limitações impostas. Nessa pesquisa foi utilizado o estudo de caso único, sendo analisados dois eventos distintos em um mesmo estudo de caso.

5.3 Estratégia de desenvolvimento da pesquisa

Essa pesquisa tem o propósito de aplicar um método de quantificação de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de uma ferramenta BIM, para auxiliar o profissional na escolha do sistema construtivo que gera menor impacto ambiental. Na sequência do trabalho foi realizada uma análise geral sob as duas abordagens citadas: abordagem sob o enfoque do sistema construtivo e da ferramenta projetual com tecnologia BIM. A estratégia de desenvolvimento da pesquisa conforme representada no **Diagrama 1**, proporciona uma análise de impactos ambientais (CO₂ e Energia incorporados), de dois sistemas construtivos para o mesmo estudo de caso: alvenaria convencional e “*steel frame*”.

Diagrama 1. Diagrama do desenvolvimento da Pesquisa
Fonte: A autora (2014)

Para desenvolver essa pesquisa, atingir o objetivo proposto e caracterizar o estudo de caso, primeiramente foram necessárias pesquisas e entrevistas com construtoras, profissionais do setor e empresas como a CBCA¹², SABESP¹³, COHAB – CT¹⁴, Caixa Econômica Federal (Setor responsável pelo programa Minha Casa Minha Vida), além de professores e pesquisadores das universidades UFPR (Universidade Federal do Paraná), USP (Universidade de São Paulo), ‘*University of Twente*’ na Holanda, LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Lisboa – Portugal) e acompanhamento de obra.

Aspectos relevantes desta etapa da pesquisa que contribuíram, portanto, na escolha do estudo de caso, são:

- a) A visita à CBCA auxiliou na decisão de escolha do sistema construtivo em aço proposto ao estudo de caso, bem como no entendimento do processo de produção do aço para a construção civil. O CBCA tem como objetivo promover e ampliar a participação da construção em aço no mercado nacional, para isso, oferece cursos, treinamentos, palestras e publicações para profissionais do setor da construção civil. Para essa pesquisa foi utilizado como referência bibliográfica o “Manual da Construção em Aço” denominado “*Steel Framing: Arquitetura*”, 2ª edição. O manual descreve os aspectos de projeto e montagem para edificações com o sistema construtivo “*Light Steel Framing*”. Nesta edição, foram incluídos dois novos capítulos: Instalações e fechamento externo de fachadas.
- b) A visita à SABESP foi importante para verificar estudos e dados de “Pegada Hídrica” nos materiais de construção e para auxiliar na tomada de decisão quanto aos impactos ambientais a serem analisados nessa pesquisa. Pegada Hídrica é um conceito criado em 2002 pelo Prof. Hoekstra na Universidade de Twente, na Holanda. O objetivo é estimar o consumo de água doce em produtos e serviços, considerando o uso direto no processo de produção e o indireto nas várias etapas da cadeia produtiva. O método permite que as empresas, comunidades, países e até indivíduos calculem o quanto de água consomem em determinadas atividades a partir dos dados de consumo de produtos e serviços (HOEKSTRA, 2002). O conceito de “pegada hídrica” vem do conceito de carbono incorporado, o qual foi analisado nessa pesquisa. O

¹² CBCA: Centro Brasileiro da Construção em Aço

¹³ SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

¹⁴ COHAB-CT: Companhia de Habitação da cidade de Curitiba – Paraná.

cálculo de pegada hídrica em materiais de construção foi realizada por Erhan Ilgar, em sua dissertação de mestrado intitulada “*Water footprinting for the construction industry in the United Kingdom*”, na Holanda, onde foi aplicado o método criado por Hoekstra.

- c) A visita à COHAB – CT teve como propósito a verificação de sistemas construtivos mais utilizados para a construção de habitações do Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal, na cidade de Curitiba. Os sistemas mais utilizados são alvenaria estrutural, alvenaria não estrutural (convencional) e o “*light steel frame*” está aos poucos sendo inserido como sistema construtivo para essas habitações (COHAB, 2012). Uma experiência com 45 casas foi realizada em um bairro Tatuquara, em Curitiba, como mostra a Figura 29.

Figura 29. Construções em "light steel frame"

Fonte: A autora (2012)

Essas casas foram construídas em sistema “*light steel frame*”, com fechamentos internos e externos em placa cimentícia, para famílias que moravam em situação de risco no mesmo bairro.

Figura 30. Casas que foram relocadas para outras em "steel frame".

Fonte: A autora (2012)

- d) O auxílio da Caixa Econômica Federal para a escolha do estudo de caso e do sistema construtivo a ser analisado, foi no entendimento do programa Minha Casa Minha Vida e nos sistemas construtivos que a Caixa financia. A Caixa possui um documento, de 2003, intitulado “Sistema Construtivo Utilizando Perfis Estruturais Formados a Frio de Aços Revestidos (*“Steel Framing”*)” que tem como subtítulo: “Requisitos e condições mínimas para financiamento pela Caixa”. Esse documento resultou da iniciativa do CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço), para consolidar o conhecimento sobre projeto, especificação de materiais e componentes e execução de edificações com sistema construtivo *“steel frame”*.
- e) Com relação ao auxílio da UFPR nessa pesquisa, a importância dada foi na participação no grupo de pesquisa TIC-HIS¹⁵, o qual fui voluntária (2011-2014). Esse grupo visa desenvolver soluções inovadoras em tecnologia da informação e comunicação aplicadas à construção e arquitetura, objetivando a melhoria da qualidade e produtividade do segmento da habitação de interesse social, com destaque para o uso de ferramentas com tecnologias BIM e outras soluções para suporte ao processo de gerenciamento de projetos; simulação de desempenho e operação de edificações. O projeto é constituído de 5 subprojetos que contemplam as principais etapas do ciclo de vida da edificação: projeto, construção e uso da edificação. O grupo TIC-HIS contempla sete universidades, entre elas: Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), Universidade Federal da Bahia

¹⁵ TIC: Tecnologia da Informação na Construção
HIS: Habitação de Interesse Social

(UFBA), Universidade Federal do Ceará (UFC). Através desse grupo tive acesso às ferramentas com tecnologia BIM aliado ao processo de projeto de habitações de interesse social, assim como novas tecnologias construtivas. As pesquisas realizadas com o grupo deram a oportunidade de publicar o artigo: (GRAF, H. F.; MARCOS, M. H. C.; TAVARES, S. F.; SCHEER, S. **Estudo de Viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO₂ incorporado**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, XIV, 2012 Juiz de Fora, Anais, Juiz de Fora, 2012).

- f) No LNEC, tive acesso a uma ferramenta de avaliação de impactos ambientais, o “*Bilan Carbone*”, desenvolvido pela ADEME, na França. O “*Bilan Carbone*” significa “pegada de carbono” e permite quantificar impactos ambientais em termos de emissão de gases de efeito estufa de uma atividade e de identificar as ações para reduzir as emissões e sua dependência com relação às energias fósseis. O “*Bilan Carbone*” se aplica a todos os tamanhos de atividades e a todos os tipos de atividades, quer seja uma empresa industrial ou terciária, uma coletividade ou uma instituição pública, um evento ou um canteiro de obras.
- g) Acompanhamento de obra: Como forma de compreender e aprender mais sobre o “*steel frame*”, como funciona a fabricação, transporte e a construção da edificação, além do detalhamento dos projetos; acompanhei uma obra em “*steel frame*” que se destinava a ampliação de uma escola de idiomas. As principais razões pela escolha do sistema construtivo pela escola e pela construtora, foi a rapidez na construção, menor geração de resíduos, facilidade na execução da fundação e menor risco de acidentes na obra. Na sequência, observa-se algumas imagens da execução dessa obra considerada de pequeno porte.

Figura 31. Instalação de montantes.

Figura 32. Instalação de tesouras.

Figura 33. Instalação do OSB para fechamento externo.

Figura 34. Colocação da manta impermeabilizante.

Figura 35. Após a instalação de chapas de OSB parafusadas na cobertura em aço, foram colocadas as telhas tipo: Schingle, que são parafusadas nas chapas de OSB.

Figura 36. Colocação do "siding vinílico" como forma de revestimento externo à esquerda. À direita observa-se o perfil metálico no meio, a chapa de osb com a membrana do lado externo e chapa de gesso acartonado na parte interna.

Figura 37. Parte interna revestida com chapas de gesso acartonado à esq. E a direita obra quase finalizada.
Fonte Figuras 31 a 37: A autora.

A partir dessas análises, para desenvolvimento da pesquisa, optou-se por utilizar como estudo de caso um projeto que atendesse os requisitos do **Programa Minha Casa Minha Vida**. Assim sendo adaptar o mesmo projeto para o sistema construtivo "steel frame" para que as análises de CO₂ e energia incorporados sejam realizados em dois sistemas construtivos: "steel frame" e alvenaria convencional.

O programa Minha Casa Minha Vida é gerido pelo Ministério das Cidades e executado pela Caixa Econômica Federal. Os empreendimentos podem ser implantados por agentes públicos ou privados de forma independente ou em parceria. O Programa Minha Casa Minha Vida foi criado pela Medida Provisória nº 459, de 25 de março de 2009, regulamentado pelo Decreto nº 6.819, de 13 de abril de 2009 e transformado na Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009, com alterações posteriores.

De acordo com a Cartilha da Caixa (2011), os principais objetivos do programa são: permitir acesso a um milhão de moradias por famílias com renda de até dez salários mínimos, mas priorizando as que possuem renda de até três salários mínimos; gerar emprego e renda com o aumento do investimento na construção civil e fortalecer a política de distribuição de renda e inclusão social. O programa abrange capitais, regiões metropolitanas e municípios com mais de 100 mil habitantes, podendo contemplar em condições especiais municípios entre 50 e 100 mil habitantes, de acordo com o seu déficit habitacional. Conforme a Agência Brasil (2014), o governo federal pretende construir três milhões de habitações a partir de 2015, sendo que 3,75 milhões de moradias já foram entregues. Portanto essa pesquisa utiliza, como estudo de caso, um modelo de projeto que visa às regras do Programa Minha Casa Minha Vida, sendo projetado com sistema de alvenaria convencional.

5.4 Estudo de Caso: Caracterização do Caso

Para a seleção do caso, foram adotados critérios relacionados ao projeto, ao material de construção e ao Programa Minha Casa Minha Vida. O estudo de caso, para aplicação do método, foi realizado em um condomínio residencial com vinte casas desenvolvidas nos parâmetros do programa Minha Casa Minha Vida, para projetos com 50m². Primeiramente o estudo foi realizado contabilizando o consumo de CO₂ e energia incorporados das vinte casas, em seguida o estudo foi feito para uma única casa e depois para uma parede. Os estudos foram feitos exatamente igual para as duas tipologias construtivas analisadas: alvenaria convencional e “*steel frame*”.

Figura 38. Universo do estudo de caso.

O projeto da residência analisada é térrea e possui 50m², sendo dois quartos, sala e um banheiro, uma área externa na parte dos fundos e outra na frente, conforme Figuras a seguir:

Figura 39. Planta baixa da residência. (sem escala)

Fonte: Construtora Azes, 2014.

Figura 40. Corte esquemático (sem escala).
Fonte: Construtora Azes, 2014.

Figura 41. Elevação frontal (sem escala).
Fonte: Construtora Azes, 2014.

Sendo o condomínio formado por vinte casas geminadas, as análises de impactos ambientais dessa pesquisa foram realizadas em três etapas: para as vinte casas, para uma casa e para apenas uma parede. Nas figuras seguintes, observam-se as casas geminadas e o condomínio com as vinte casas e a implantação.

PLANTA BAIXA
ÁREA ÚTIL UNITÁRIA: 50 m²

Figura 42. Planta baixa - casas geminadas. (sem escala)
Fonte: Construtora Azes, 2014.

Figura 43. Implantação do condomínio.
Fonte: Construtora Azes, 2014.

Figura 44. Imagem ilustrativa gerada pela ferramenta ArchiCad
Fonte: Construtora Azes, 2014.

Após a escolha do projeto, foram realizadas as análises de impactos ambientais. Primeiramente o condomínio foi projetado em dois sistemas construtivos: alvenaria e “*steel frame*”. Em seguida foram inseridos na ferramenta BIM, ArchiCAD, dados referentes a CO₂ e energia incorporados em cada material de construção. Esses dados foram previamente calculados através de referenciais bibliográficos, conforme é mostrado no item 6 dessa pesquisa.

6 DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O projeto arquitetônico analisado nessa pesquisa foi projetado em uma ferramenta com tecnologia BIM, denominada ArchiCAD¹⁶. O projeto inicialmente fornecido pela construtora foi detalhado com sistema construtivo em alvenaria convencional, o qual foi igualmente projetado em “*steel frame*”. Dessa maneira é possível obter um comparativo de resultados de impactos ambientais, além de tabelas e gráficos com os resultados de CO₂ e Energia Incorporados. A escolha pela ferramenta ArchiCAD se deu pela maior facilidade de acesso e programação do banco dados para inserção de novos valores indexados aos materiais construtivos.

6.1 Energia e CO₂ incorporados: Conceitos

a) Energia Incorporada

A energia incorporada é uma forma de mensurar o impacto ambiental das construções. É um fator importante para a tomada de decisões quanto à escolha de materiais (ABEYSUNDARA; BABEL; GHEEWALA, 2008). Essa energia é considerada como toda aquela usada para a fabricação dos materiais usados na construção de uma edificação, desde a energia usada para extrair a matéria-prima, para o processo de fabricação, transporte até o produto final para o consumidor (MENZIES, 2000 citado por ABEYSUNDARA; BABEL; GHEEWALA, 2008; TAVARES, 2006).

O tempo de vida energético da edificação é dividido em produção – incluindo todos os processos desde a extração de matéria-prima até o fim da produção na fábrica, construção, operação, manutenção e demolição (THORMARK, 2001), sendo que a energia incorporada pode chegar a 40% de toda aquela que é consumida durante a vida da edificação. Como exemplos, a fabricação de cimento gera grandes quantidades de dióxido de carbono, o alumínio consome grandes quantidades de energia elétrica em sua produção, as cerâmicas vermelhas utilizam madeira e aços e ferros fundidos consomem carvão mineral e também emitem gás carbônico.

¹⁶ O ArchiCAD é uma ferramenta com tecnologia BIM desenvolvida pela “*Graphisoft Virtual Building Explorer*”

A energia incorporada é usada como um indicador de sustentabilidade das edificações, já que a fabricação de materiais de construção é frequentemente a principal fonte de emissões de gases poluentes (TAVARES, 2006).

No Reino Unido, a produção de materiais de construção consome um décimo de toda a energia consumida no país. Roaf; Fuentes; Thomas (2006) fazem um estudo detalhado da “*Oxford Ecohouse*” quanto ao impacto de seus materiais e referem-se a outras pesquisas semelhantes, chegando a conclusões práticas para construir ou reformar. Não existem regras absolutas para a escolha dos materiais e de como o impacto ambiental deve ser avaliado, porém alguns fatores podem ser determinados: a energia necessária para produzir o material, a emissão de CO₂ resultante da fabricação, o impacto local de extrações (pedra, madeira, petróleo), a toxicidade, o transporte do material durante a fabricação e entrega ao sítio, o grau de poluição resultante no final de sua vida útil. São fatores influenciados por essa escolha e por decisões de projeto: localização e detalhamento dos elementos de arquitetura, manutenção, contribuição do material para reduzir o impacto da edificação como pela insolação, flexibilidade de projeto para acomodar diferentes usos ao longo do tempo, vida útil do material e possibilidade de reutilização na demolição (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006).

Existem diversos métodos para o cálculo da energia incorporada e com diferentes valores obtidos. A energia é mensurada como energia fornecida ou primária. A fornecida se refere à quantidade que realmente foi utilizada como a registrada em uma conta de energia elétrica. A primária é a energia usada para produzir a energia fornecida, como a combustão do gás usado para produzir eletricidade em uma usina de energia elétrica. Na Nova Zelândia, a energia usada em uma edificação típica ao longo de 50 anos é igual a quatro vezes a energia incorporada à sua estrutura. Essa abordagem é chamada de análise de ciclo de vida e é usada para avaliar o impacto total da edificação e mostrar a importância da vida útil, pois quanto mais tempo a casa durar, menor será o impacto por seus materiais. De forma simples, divide-se a energia incorporada inicial de toda a casa por sua vida útil, considerando as manutenções. Para a maioria das edificações, os materiais que contribuem de forma significativa para a incorporação de energia são: aço, concreto, madeira, tijolos, cimento, agregados, vidro e argamassa, as quais representam grande parte da massa ou volume da edificação e podem ser determinados os valores a partir das

especificações (GRAFF, 2011). Para essa pesquisa foi considerada a energia incorporada inicial, conforme Figura 45.

Figura 45. Energia Incorporada em uma edificação.

Fonte: Tavares (2006); Marcos, M. (2009)

A origem e o tipo de energia usada para cada atividade é importante para entender os impactos causados ao meio ambiente (ABEYSUNDARA; BABEL; GHEEWALA, 2008). No Brasil, a energia incorporada pode ser de origem renovável ou não renovável (fóssil). Predomina a renovável: eletricidade oriunda de usinas hidroelétricas (80%), carvão vegetal, mas também é de grande importância a parcela de não renováveis: carvão mineral, óleo combustível, eletricidade oriunda de usinas térmicas e nucleares (20%), coque de petróleo, gás natural, outras (MME, 2009).

b) CO₂ Incorporado

O processo de fabricação de materiais usados na construção civil contribui para o aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera. Existe uma grande preocupação em controlar o efeito estufa e, conseqüentemente a emissão de CO₂, a fim de minimizar os impactos ambientais adversos. Estudos sobre o gasto energético para a produção e transformação de diferentes materiais de construção e a emissão de dióxido de carbono para o meio ambiente, estão sendo realizados na Nova Zelândia, Japão e Índia, entre outros países. A seleção de materiais e a escolha da tecnologia usada na construção da edificação devem satisfazer tanto às necessidades do usuário quanto às da sociedade, proporcionando desenvolvimento sem causar impactos negativos ao meio ambiente. Atualmente a conscientização sobre aspectos ligados

ao meio ambiente tem aumentado no setor da construção civil (VENKATARAMA, JAGADISH, 2003; MARCOS, M., 2009).

A preservação do meio ambiente é um dos maiores motivos de preocupação a nível mundial e estão aumentando nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. O aquecimento global, a redução da camada de ozônio, a destruição dos habitats naturais e a perda da biodiversidade são a causa de muita discussão nos foros internacionais. O aquecimento global e seus efeitos sobre a terra, é uma consequência a longo prazo e um dos maiores problemas é o acúmulo dos chamados gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O , etc) nas camadas superiores da atmosfera. A emissão desses gases é o resultado de intensas atividades humanas tais como a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento e mudanças de uso da terra.

Para atingir de redução de impactos ambientais é necessário que seja adotado uma abordagem multidisciplinar que abrange uma série de características, tais como: economia de energia, utilizar corretamente os materiais, reutilização e reciclagem e de controle das emissões (ASIF; KELLEY 2007).

6.2 Energia e CO_2 incorporados: Dados

Os índices utilizados para os cálculos de emissão encontram-se nas tabelas a seguir e foram analisadas as seguintes informações de cada material de construção, necessárias para se obter o total de emissão de CO_2 :

- a) Densidade, energia de fabricação, matriz energética, distância média de fabricação, energia de transporte, emissão de CO_2 na fabricação e emissão de CO_2 no transporte.
- b) Os seguintes combustíveis: combustível a diesel, gás natural, gás liquefeito de petróleo (LP), coque de petróleo, outros derivados de petróleo, carvão, coque, eletricidade, carvão vegetal e lenha.

A seguir estão especificados os respectivos valores que foram utilizados para os cálculos finais de análise dos impactos, como segue:

a) Densidade

Na **Tabela 5**, são mostradas as densidades dos principais materiais de construção que foram utilizados nessa pesquisa, de acordo com o projeto arquitetônico.

Nº	Materiais	Massa específica (t/m³)
1	Aço	7,850
2	Alumínio anodizado	2,700
3	Alumínio reciclado	2,700
4	Areia	1,600
5	Argamassa	1,860
6	Vidro	2,500
7	Cerâmica- telha	2,050
8	Cimento Portland	1,950
9	Concreto	2,300
10	Madeira- seca ao forno	0,600
11	Madeira – seca ao ar livre	0,600
12	Tinta acrílica	0,208
13	Tinta óleo	0,208
14	Tinta PVA latex	0,234
15	PVC	0,650

Tabela 5. Densidade dos principais materiais de construção.

Fonte: Tavares (2006); Incropera, (1992); Van Vlack,(1970)

b) Energia de fabricação

A Tabela 6, informa os valores de Energia Incorporada por MJ/kg com as respectivas fontes, além dos valores de Energia Incorporada (EI) por volume de material.

Nº	Materiais	EI (MJ/m³)
1	Aço	235.500
2	Alumínio anodizado	567.000
3	Alumínio reciclado	46.710
4	Areia	80
5	Argamassa	3.906
6	Borracha natural - Latex	63.480
7	Borracha sintética	160.650
8	Brita	247,50
9	Cal virgem	4.500
10	Cerâmica- 8 furos	4.060
11	Cerâmica branca	52.075
12	Cerâmica- telha	10.260
13	Cimento Portland	8.190
14	Cobre	669.975
15	Concreto	2.760
16	Fibrocimento - telha	9.600
17	Madeira- seca ao forno	2.100
18	Madeira – seca ao ar livre	300
19	Madeira – lamin. colada	4.875
20	Madeira - MDF	5.850
21	Solo – cimento- bloco	1.020
22	Solvente - tolueno	74.690
23	Tinta acrílica	79.300
24	Tinta óleo	127.530
25	Tinta PVA latex	84.500
26	Tubo - PVC	104.000
27	Vidro plano	46.250

Tabela 6. Energia Embutida em materiais de construção brasileiros.

Fonte: Tavares (2006); Incropera, (1992); Van Vlack,(1970)

c) Matriz energética

Matriz energética é uma representação quantitativa de todos os recursos energéticos disponíveis em uma determinada região para serem utilizados nos diversos processos produtivos. No Brasil, o consumo final de energia por fontes, é discriminada no Balanço Energético Nacional (BEN), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética do Ministério das Minas e Energias do governo federal. Na **figura 46**, é demonstrado o consumo do país, referente ao ano de 2013, no relatório publicado em 2014.

Figura 46. Consumo final de energia por fonte.

Fonte: Balanço Energético Nacional (2014).

¹ Inclui biodiesel ² Inclui apenas gasolina A (automotiva) ³ Inclui gás de refinaria, coque de carvão mineral e carvão vegetal.

A discriminação dos insumos energéticos em fontes específicas e destas para a geração de CO₂ correspondentes, são pontos importantes de interpretação em uma análise energética. Assim, é possível estabelecer um parâmetro de sustentabilidade a partir do CO₂ incorporado nos materiais de construção da edificação.

A partir do consumo de materiais nas edificações, e consequentemente, energia incorporada, pode ser feita a desagregação dos valores de consumo de energia em fontes primárias. A **Tabela 7** apresenta a relação de consumo de fontes específicas de energia por materiais de construção fabricados no Brasil.

Nº	Fontes Materiais	Fósseis não renováveis (%)								Renováveis (%)			
		óleo diesel e Combustível	Gás natural	GLP	Coque de Petróleo	Outras secundárias de petróleo	Carvão mineral	Coque de carvão mineral	Eletricidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes prim. renováveis	Outras
1	Aço e ferro	1	6					71	10				12
2	Alumínio	21	7			4		10	54				4
3	Areia	99							1				
4	Argamassa	86			10				4				
5	Cal	12							8		80		
6	Cerâmica revest.	15	68	5					12				
7	Cerâmica verm.	4		8					2		85		1
8	Cimento	3			61		8		12	9			7
9	Cobre	10	44					5	41				
10	Concreto	82			9				9				
11	Fibrocimento	84		2					14				
12	Impermeabilizantes	10	30			34			26				
13	Madeira	83							17				
14	Pedra	85							15				
15	Plásticos	10	30			34			26				
16	Tintas	90							10				

Tabela 7. Consumo primário de energia por fontes em materiais de construção (% MJ)

Fonte: Tavares (2006) baseado em CETEC / MG (BRASIL, 1982); SOARES (2003); Anuário estatístico: Setor metalúrgico (BRASIL, 2004); BELTRAN; MARTINEZ (2004); Balanço Energético Nacional, (BRASIL, 2005a); Marcos (2009).

Dos materiais relacionados na **Tabela 7**, verifica-se que em média 70 % dos insumos energéticos provêm de fontes fósseis não renováveis. Das fontes renováveis deve-se alertar para fato de que 50% do carvão vegetal e 80% da lenha são obtidos de matas nativas ou seja, são contabilizadas na geração do CO₂.

d) Transporte

Com relação ao transporte dos materiais da indústria até o local da obra, os itens relacionados tiveram como referência uma distância média de 50km e o consumo energético do tipo de material utilizado é de 1,62 MJ/km/t. O combustível considerado foi o óleo diesel e o caminhão como meio de transporte. De acordo com Tavares

(2006), para o transporte de 4m³ de argila, equivalentes a 7200 kg, é consumido 1 litro de óleo diesel por 3 km. Sendo de 35 GJ/ m³ o poder calorífero desse combustível, é obtida a relação de 1,62 MJ/km/t.

e) Geração de CO₂ por fontes de energia

A quantidade de CO₂ liberado por fonte para geração de energia é apresentada na Tabela 8 abaixo.

Nº	FONTE	CO₂ (kg/GJ)
1	Eletricidade	18,1
2	Óleo Combustível	79,8
3	Gás Natural	50,6
4	GLP	63,3
5	Fontes secundárias de petróleo	72,6
6	Coque de carvão mineral	91,5
7	Coque de petróleo	72,6
8	Carvão mineral	91,5
9	Carvão vegetal	51,0
10	Lenha	81,6

Tabela 8. Geração de CO₂ por fontes de energia.

Fonte: IPCC, (1995); Theis, (1996); apud Tavares (2006)

6.2.1 CO₂ incorporado: Demonstrativo de cálculos

Para exemplificar o resultado da emissão de CO₂ emitido pela ferramenta BIM, ArchiCad, foi realizado o cálculo de emissões a seguir, baseado nos índices dos quadros listados acima, conforme Marcos (2009).

a) CO₂ incorporado - Aço

Primeiramente utilizam-se os dados do consumo primário de energia por fontes em materiais de construção, onde é especificado o consumo para o aço: óleo combustível (0,01), gás natural (0,06) e coque de carvão mineral (0,71), em números decimais (na Tabela 7, têm-se os valores em porcentagem). O índice 1 está discriminado na Tabela 8 e o índice 2 na Tabela 7.

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ (Tabela 8)

Índice 2: 0,01 (Tabela 7)

$0,0798 \times 0,01 = \mathbf{0,000798 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Gás natural

Índice 1: 0,0506 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,06

$0,0506 \times 0,06 = \mathbf{0,00303 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de gás natural}}$

Coque de carvão mineral

Índice 1: 0,0915 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,71

$0,0915 \times 0,71 = \mathbf{0,0649 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de coque de carvão mineral}}$

Eletricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,10

$0,0181 \times 0,10 = \mathbf{0,00181 \text{ kg CO}_2/\text{MJ}}$

As outras fontes renováveis descritas na Tabela 7, não foram consideradas nos cálculos dessa pesquisa.

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado no aço é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,071 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado,

calcula-se o CO₂/ m³ incorporado do aço, que é o índice fornecido pela ferramenta ArquiCad, uma vez que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção do aço emite 0,071 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 235.500 MJ (Tabela 6).

Então, $235.500 \times 0,071 = \mathbf{16.720,5 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

Esses procedimentos de cálculos foram realizados para todos os materiais de construção utilizados no projeto analisado, obtendo assim, o valor total de CO₂ incorporado emitido pela ferramenta.

b) CO₂ incorporado - concreto

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,82

$0,0798 \times 0,82 = \mathbf{0,0654 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Coque de petróleo

Índice 1: 0,0726 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,09

$0,0726 \times 0,09 = \mathbf{0,0653 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de coque de petróleo}}$

Elettricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,09

$0,0181 \times 0,09 = \mathbf{0,00163 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de eletricidade}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado pelo concreto é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,132 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado no concreto, que é o índice fornecido pelo ArquiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção do concreto emite 0,132 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 2760 MJ.

Então, $2760 \times 0,132 = \mathbf{364,32 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

c) CO₂ incorporado - cimento

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,03

$0,0798 \times 0,03 = \mathbf{0,0024 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Coque de petróleo

Índice 1: 0,0726 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,61

$0,0726 \times 0,61 = \mathbf{0,0442 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de coque de petróleo}}$

Carvão mineral

Índice 1: 0,0915 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,08

$0,0915 \times 0,08 = \mathbf{0,00732 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de carvão mineral}}$

Elettricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,12

$0,0181 \times 0,12 = \mathbf{0,00217 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de eletricidade}}$

Carvão vegetal

Índice 1: 0,051 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,09

$0,051 \times 0,09 = \mathbf{0,00459 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de carvão vegetal}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado no cimento é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,060 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado no cimento, que é o índice fornecido pelo ArchiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção do cimento emite 0,06 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 8190 MJ.

Então, $0,06 \times 8190 = \mathbf{491,4 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

d) CO₂ incorporado - gesso

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,083

$0,0798 \times 0,083 = \mathbf{0,0066 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Coque de petróleo

Índice 1: 0,0726 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,013

$0,0726 \times 0,013 = \mathbf{0,0009 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de coque de petróleo}}$

Lenha

Índice 1: 0,0816 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,787

$0,0816 \times 0,787 = \mathbf{0,0642 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de lenha}}$

Elettricidade

Índice 1: 0,0816 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,55

$0,0816 \times 0,55 = \mathbf{0,045 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de eletricidade}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado no gesso é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,116 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado no gesso, que é o índice fornecido pelo ArquiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção do gesso emite 0,116 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 8190 MJ.

Então, $0,116 \times 5720 = \mathbf{663,52 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

e) CO₂ incorporado - cerâmica para revestimento

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,015

$0,0798 \times 0,015 = \mathbf{0,0012 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Gás natural

Índice 1: 0,0506 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,68

$0,0506 \times 0,68 = \mathbf{0,0344 \text{ kg CO}_2/\text{ MJ de coque de petróleo}}$

Carvão mineral

Índice 1: 0,0915 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,08

$0,0915 \times 0,08 = \mathbf{0,00732 \text{ kg CO}_2/\text{ MJ de carvão mineral}}$

Elettricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,12

$0,0181 \times 0,12 = \mathbf{0,00217 \text{ kg CO}_2/\text{ MJ de eletricidade}}$

GLP

Índice 1: 0,063 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,05

$0,063 \times 0,05 = \mathbf{0,00315 \text{ kg CO}_2/\text{ MJ de GLP}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado no concreto é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,114 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado na cerâmica para revestimento, que é o índice fornecido pelo ArchiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção da cerâmica emite 0,114 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 52.075 MJ.

Então, $0,114 \times 52.075 = \mathbf{5936,55 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

f) CO₂ incorporado - telha cerâmica

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,04

$0,0798 \times 0,04 = \mathbf{0,0032 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Eletricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,02

$0,0181 \times 0,02 = \mathbf{0,00036 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de eletricidade}}$

GLP

Índice 1: 0,063 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,08

$0,063 \times 0,08 = \mathbf{0,00504 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de GLP}}$

Lenha

Índice 1: 0,0816 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,85

$0,0816 \times 0,85 = \mathbf{0,069 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de GLP}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado pela telha cerâmica é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,077 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado na telha cerâmica, que é o índice fornecido pelo ArquiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção da telha cerâmica emite 0,077 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 10.260 MJ.

Então, $0,077 \times 10.260 = \mathbf{790 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

g) CO₂ incorporado - argamassa

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,86

$0,0798 \times 0,86 = \mathbf{0,068 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Elettricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,04

$0,0181 \times 0,04 = \mathbf{0,000724 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de eletricidade}}$

Coque de petróleo

Índice 1: 0,0726 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,10

$0,0726 \times 0,10 = \mathbf{0,00726 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de GLP}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado na argamassa é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,0759 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado na argamassa, que é o índice fornecido pelo ArquiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção da argamassa emite 0,0759 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 10.260 MJ.

Então, $0,0759 \times 3.906 = \mathbf{296,46 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

h) CO₂ incorporado - madeira

Óleo Combustível:

Índice 1: 0,0798 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,83

$0,0798 \times 0,82 = \mathbf{0,065 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de óleo combustível}}$

Eletricidade

Índice 1: 0,0181 kg CO₂/MJ

Índice 2: 0,17

$0,0181 \times 0,17 = \mathbf{0,003 \text{ kg CO}_2/\text{MJ de eletricidade}}$

Sendo assim, o valor total de CO₂/MJ incorporado na madeira é a soma dos resultados obtidos acima, totalizando 0,095 kg CO₂/ MJ. Com a obtenção desse resultado, calcula-se o CO₂/ m³ incorporado na madeira, que é o índice fornecido pelo ArchiCad, que está alimentado em sua base de dados.

Cada MJ na produção da madeira emite 0,095 kg CO₂/MJ. Sendo que, 1m³ necessita de 2.100 MJ.

Então, $0,095 \times 2100 = \mathbf{1995 \text{ kg/m}^3 \text{ de CO}_2}$.

6.3 Dados extraídos da ferramenta BIM

Os dados calculados no item 6.0, foram inseridos no banco de dados da ferramenta BIM, ArchiCAD. Analisa-se o quantitativo de materiais do objeto de estudo em questão. Através desses materiais, o banco de dados do ArchiCAD é alimentado com resultados equivalentes ao total de quilos de materiais por m² de construção. Assim sendo, cada material terá seu próprio índice de impactos ambientais, através de cálculos da energia incorporada e CO₂ incorporado. Ao final, cada sistema construtivo será projetado no ArchiCAD o que irá gerar os índices totais de impactos, por sistema construtivo proposto no momento do projeto.

No diagrama abaixo, **Figura 47**, está esquematizado o processo de informação do ArchiCAD. Primeiramente o elemento (nesse caso, parede) é desenhado, em seguida aplicam-se os materiais e acabamentos relativos a essa parede. A base de dados está alimentada com ferramentas de associação automáticas que indicam os parâmetros de carbono incorporado, em quilos, gerando uma lista de resultados.

Figura 47. Processo de geração da informação na ferramenta BIM, ArchiCAD.
Fonte: MARCOS, MICHELINE (2009)

Assim foram obtidos resultados referentes aos dois sistemas construtivos: alvenaria e “*steel frame*”, com relação ao CO₂ incorporado e energia incorporada. Com a utilização desse método, é possível obter dados de diversos impactos ambientais e analisá-los no momento da concepção do projeto como forma de auxiliar na escolha do sistema construtivo com menor impacto ambiental.

7 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DA FERRAMENTA BIM NO ESTUDO DE CASO

Após a escolha do projeto como estudo de caso conforme descrito no item **5.4**, foram realizadas as análises de impactos ambientais. Primeiramente o condomínio foi projetado em dois sistemas construtivos: alvenaria convencional e “*steel frame*”. Em seguida foram inseridos na ferramenta BIM, ArchiCAD, dados referentes a CO₂ e energia incorporados em cada material de construção. Esses dados foram previamente calculados através de referenciais bibliográficos, conforme é mostrado no item **6.2** dessa pesquisa. A partir disso, é possível realizar a extração desses dados no momento da realização do projeto na ferramenta e assim, auxiliar na escolha de materiais de construção com menor impacto ambiental.

7.1 Resultados do sistema construtivo em alvenaria

Primeiramente foi projetado na ferramenta BIM, ArchiCAD, os projetos relativos ao sistema construtivo em alvenaria. Sendo assim, foram extraídos os resultados relativos aos dados de energia e CO₂ incorporados nos materiais de construção utilizados no projeto do condomínio analisado.

No item **7.1.1** são analisados os dados referentes às vinte casas construídas com sistema convencional de alvenaria. No item **7.1.2** são analisados os dados referentes a uma única casa construída no mesmo sistema de alvenaria. No item **7.1.3** demonstra-se os dados de energia e CO₂ incorporados em uma única parede.

7.1.1 20 casas em alvenaria

A partir de dados de energia e CO₂ embutidos inseridos na ferramenta BIM, obtêm-se os resultados da Tabela 9 abaixo. Observa-se um consumo elevado de energia em destaque para as telhas cerâmicas, o ladrilho e o concreto estrutural, sendo que a energia embutida total é sete vezes maior que o carbono incorporado.

Nº	Material	Densidade (Kg/m³)	Volume (m³)	Massa (kg)	Carbono Incorporado (Kg/CO ₂)	Energia Incorporada (MJ)
1	Azulejo Banheiro - Parede	2.000,00	4,20	8.110,04	24.072,66	211.189,22
2	Azulejo Cozinha – Parede	2.000,00	2,00	4.042,98	11.999,50	105.279,64
3	Chapisco	1.860,00	26,59	48.701,57	7.743,61	102.272,25
4	Concreto	2.300,00	23,81	54.966,39	8.684,72	65.959,52
5	Concreto – Estrutural	2.300,00	166,66	384.675,64	60.777,52	461.610,88
6	Contrapiso	1.860,00	39,32	73.240,60	11.645,28	153.805,44
7	Gesso	1.950,00	9,20	17.921,18	6.093,20	52.509,28
8	Ladrilho Branco – Piso	2.000,00	9,92	19.652,80	58.329,40	511.757,20
9	Madeiramento - Cobertura	600,00	19,80	14.596,74	48.536,73	51.088,80
10	Telha – Cobertura	1.900,00	105,28	200.130,44	83.054,08	1.080.704,20
11	Tijolo - 14cm	1.400,00	164,45	230.277,66	129.876,57	667.805,03
12	Tijolo - 9cm	1.400,00	119,59	167.742,73	94.606,86	486.454,66
Total					545.418,37	3.950.435,30

Tabela 9. Dados extraídos do ArchiCad referentes ao consumo de 20 casas no sistema convencional.¹⁷

Fonte: A autora (2014)

No **Gráfico 1** observa-se um comparativo de consumo energético e o CO₂ incorporado por material de construção analisados, relativos às vinte casas do condomínio projetado.

¹⁷ Densidade x Volume = Massa. / Carbono Incorporado = Massa x Carbono Unitário (referência inserida na base de dados do ArchiCad) / Energia Incorporada = Massa x Energia Unitária (referência inserida na base de dados do ArchiCad).

a) Resultados por material referente às 20 casas em alvenaria

Gráfico 1. Comparativo entre CO₂ e Energia incorporados.

Fonte: A Autora (2014)

b) Total geral

Gráfico 2. Porcentagem comparativa do consumo energético e CO₂.

Fonte: A Autora (2014)

Nas análises comparativas descritas no **Gráfico 2**, observa-se um consumo incorporado de 88% de energia e de 12% relativo ao CO₂, sendo esses valores referentes ao total das vinte casas analisadas. Com esse resultado pode-se concluir que, para uma construção com sistema construtivo em alvenaria convencional há um elevado índice de energia incorporada, principalmente em razão da utilização do tijolo de 9 cm e de 14 cm e da telha cerâmica para cobertura. Conforme descrito na

Tabela 9:

- a) Tijolo 9 cm - 486.454,66 MJ de energia incorporada
- b) Tijolo 14 cm - 667.805,03 MJ de energia incorporada
- c) Telha cobertura - 1.080.704,20 MJ de energia incorporada

Além disso, o ladrilho branco que é utilizado no piso e o concreto estrutural também contribuem para o aumento do total da energia incorporada.

7.1.2 Uma casa em alvenaria

A partir do projeto e das análises do condomínio de vinte casas, foram feitas as análises referentes a uma única casa para que haja uma relação entre o consumo geral e específico. A seguir, na **Tabela 10**, têm-se os valores de carbono e energia incorporados para uma única casa.

As análises comparativas entre os consumos de energia e CO₂ incorporados relativos a uma única residência, são mostrados no **Gráfico 3** abaixo. Observa-se, no **Gráfico 4**, que as porcentagens se mantem a mesma se comparado ao consumo das vinte casas, o que resulta em uma energia incorporada sete vezes maior que o CO₂ incorporado.

Nº	Materiais	Carbono Embutido (Kg CO2)	Energia Embutida (MJ)
1	Azulejo Banheiro - Parede	2.398,23	21.039,61
2	Azulejo Cozinha - Parede	1.199,93	10.527,72
3	Chapisco	864,69	11.420,15
4	Concreto	383,40	2.911,80
5	Concreto - Estrutural	4.976,51	37.797,28
6	Contrapiso	1.163,70	15.369,60
7	Ladrilho Branco - Piso	5.832,94	51.175,72
8	Madeiramento - Cobertura	4.671,44	4.916,94
9	Telha - Cobertura	8.316,00	108.208,26
10	Tijolo - 14cm	16.472,98	84.701,49
11	Tijolo - 9cm	9.608,50	49.405,48
	Total	55.888,04	397.474,01

Tabela 10. Dados extraídos do ArchiCad.

Fonte: A Autora (2014)

a) Resultados por material relativo a uma casa em alvenaria

Gráfico 3. Comparativo entre CO₂ e Energia incorporados.

Fonte: A Autora (2014)

b) Total geral relativo a uma casa

Gráfico 4. Porcentagem comparativa entre CO₂ e Energia incorporados.**Fonte:** A Autora (2014)**7.1.3 Uma parede em alvenaria**

A partir do projeto e das análises do condomínio de vinte casas, foram feitas as análises referentes a uma única casa para que haja uma relação entre o consumo geral e específico. Sendo assim, conforme mostrado abaixo, analisa-se a energia e o CO₂ incorporados referente a uma parede.

A parede analisada está destacada em azul na figura abaixo.

Figura 48. Parede analisada.

A seguir, na **Tabela 11**, têm-se os valores de carbono e energia embutidos para uma única parede.

Material	Carbono Embutido (Kg CO ₂)	Energia Embutida (MJ)
Chapisco	16,31	215,43
Tijolo - 9cm	319,24	1.641,49
Total	335,55	1.856,91

Tabela 11. Dados extraídos do ArChicad referentes a uma parede em alvenaria. ¹⁸
Fonte: A autora (2014)

As análises comparativas entre os índices de energia e CO₂ incorporados relativos a uma parede, são mostrados no **Gráfico 5** abaixo. Observa-se, no **Gráfico 6**, que as porcentagens sofrem alteração se comparado com o consumo de todas as vinte casas e também se comparado ao consumo de uma casa, o que resulta em uma energia incorporada cinco vezes e meia maior que o CO₂ incorporado.

a) Resultados por material referentes uma parede em alvenaria

Gráfico 5. Comparativo entre CO₂ e Energia embutidos.
Fonte: A Autora (2014)

¹⁸ Para essa análise foram considerados o sistema construtivo e os materiais utilizados no acabamento, como: alvenaria – tijolo 9cm (sistema construtivo), e chapisco (acabamento).

b) Total geral referente a uma parede em alvenaria

Gráfico 6. Porcentagem comparativa entre CO₂ e Energia incorporados (embutidos) referente a uma parede em alvenaria.

Fonte: A Autora (2014)

7.2 Resultados do sistema construtivo em “*STEEL FRAME*”

Após os resultados e análises do sistema convencional em alvenaria, foram realizadas as análises e resultados relativos aos dados de energia e CO₂ incorporados nos materiais de construção utilizados no projeto do condomínio analisado projetado com sistema construtivo em “*steel frame*”, sendo a vedação externa em placa cimentícia e a vedação interna em “*dry wal*”.

A seguir são analisados os dados referentes às vinte casas construídas com sistema “*steel frame*”, uma única casa construída no mesmo sistema e uma única parede.

7.2.1 Vinte casas em “*steel frame*”

A partir de dados de energia e CO₂ incorporados inseridos na ferramenta BIM, obtêm-se os resultados da Tabela 12 a seguir. Observa-se um consumo elevado de energia em destaque para as telhas cerâmicas, o ladrilho e o aço estrutural, sendo que a energia incorporada total é, em média, seis vezes maior que o carbono incorporado.

Nº	Material	Densidade Kg/m³	Volume (m³)	Massa (Kg)	Carbono Incorporado (KgCO ₂)	Energia Incorporada (MJ)
1	Aço - Estrutural	7.850,00	1,24	10.310,00	21.960,00	309.305,00
2	Azulejo Banheiro - Parede	2.000,00	4,06	8.110,00	24.071,00	211.193,00
3	Azulejo Cozinha - Parede	2.000,00	2,02	4.043,00	11.999,00	105.280,00
4	Chapisco	1.860,00	7,16	13.316,00	2.121,00	27.965,00
5	Concreto	2.300,00	23,90	54.966,00	8.706,00	65.959,00
6	Concreto - Estrutural	2.300,00	139,77	321.462,00	50.919,00	385.755,00
7	Contrapiso	1.860,00	40,43	75.195,00	11.984,00	157.910,00
8	Gesso	1.950,00	9,19	17.921,00	6.096,00	52.509,00
9	Gesso Acartonado	800,00	61,47	49.178,00	40.788,00	299.988,00
10	Gesso Acartonado - RU	800,00	11,69	9.356,00	7.759,00	57.072,00
11	Ladrilho Branco - Piso	2.000,00	9,83	19.652,00	58.333,00	511.757,00
12	Madeiramento - Cobertura	600,00	1,79	1.073,00	3.569,00	3.757,00
13	Placa Cimentícia	1.950,00	29,59	57.708,00	14.542,00	242.374,00
14	Telha - Cobertura	1.900,00	105,33	200.129,00	83.193,00	1.080.704,2
15	Tijolo - 14cm	1.400,00	72,06	100.886,00	56.920,00	292.570,00
	TOTAL			943.305,00	402.960,00	3.804.098,2

Tabela 12. Dados extraídos do ArchiCad. ¹⁹

Fonte: A Autora (2014)

¹⁹ Densidade x Volume = Massa. / Carbono Incorporado = Massa x Carbono Unitário (referência inserida na base de dados do ArchiCad) / Energia Incorporada = Massa x Energia Unitária (referência inserida na base de dados do ArchiCad).

a) Resultados por material das vinte casas em “steel frame”

Gráfico 7. Comparativo entre CO₂ e Energia incorporados (embutidos).

Fonte: A Autora (2014)

O **Gráfico 8** mostra a porcentagem comparativa entre CO₂ e Energia incorporados referentes às vinte casas com sistema “steel frame”.

b) Total geral referentes às vinte casas em “steel frame”

Gráfico 8. Porcentagem comparativa entre CO₂ e Energia incorporados.

Fonte: A Autora (2014)

7.2.2 Uma casa em “steel frame”

A partir do projeto e das análises do condomínio de vinte casas, foram feitas as análises referentes a uma única casa para que haja uma relação entre o consumo geral e específico. A seguir, na **Tabela 13**, têm-se os valores de carbono e energia incorporados para uma única casa.

Material	Carbono Incorporado (Kg CO ₂)	Energia Incorporada (MJ)
Aço - Estrutural	2.353,69	33.153,26
Azulejo Banheiro - Parede	2.398,14	21.040,34
Azulejo Cozinha - Parede	1.199,96	10.528,08
Chapisco	267,05	3.519,97
Concreto	384,36	2.911,80
Concreto - Estrutural	3.898,01	29.530,44
Contrapiso	1.196,04	15.759,26
Gesso	1.219,40	10.502,00
Gesso Acartonado	4.458,73	32.792,53
Gesso Acartonado - RU	774,1	5.693,19
Ladrilho Branco - Piso	5.833,32	51.175,72
Madeiramento - Cobertura	2.776,76	2.922,94
Placa Cimentícia	1.521,81	25.363,37
Telha - Cobertura	8.329,89	108.206,24
Tijolo - 14cm	7.601,61	39.072,40
Total	44.213,01	392.171,81

Tabela 13. Valores referentes ao Carbono e Energia embutidos de uma única casa em steel frame.

Fonte: A Autora (2014)

Através da análise de uma única casa em “steel frame”, em comparação com as vinte casas observa-se que, a energia incorporada resulta em 8,8 vezes o valor do carbono incorporado. Analisando as vinte casas a energia embutida é 6,7 vezes o valor do carbono incorporado.

a) Resultados por material referente a uma casa em “*steel frame*”

Gráfico 9. Comparativo entre CO2 e Energia.

Fonte: A Autora (2014)

b) Total geral referente a uma casa em “*steel frame*”

Gráfico 10. Comparativo em porcentagem para uma casa em steel frame.

Fonte: A Autora (2014)

Os resultados mostram que houve uma diminuição no consumo de energia de 3% em relação a análise das vinte casas.

7.2.3 Uma parede em “steel frame”

A partir do projeto e das análises do condomínio de vinte casas, foram feitas as análises referentes a uma única casa para que haja uma relação entre o consumo geral e específico e a referência para uma única parede. Sendo assim, conforme mostrado abaixo, analisa-se a energia e o CO₂ incorporados referente a uma parede em “steel frame”.

Material	CO2 Incorporado (KgCO ₂)	Energia Incorporada (MJ)
Aço - Estrutural	52,97	746,11
Gesso Acartonado	114	838,45
Placa Cimentícia	96,55	1.609,13
Total	263,52	3.193,69

Tabela 14. Dados referentes a uma parede em “steel frame”. ²⁰

Fonte: A autora (2014)

a) Resultados por material referente a uma parede em “steel frame”

Gráfico 11. Comparativo entre CO₂ embutido e Energia embutida para uma parede em “steel frame”.

Fonte: A Autora (2014).

b) Total geral referente a uma parede em “steel frame”

²⁰ Para essa análise foram considerados o sistema construtivo e os materiais utilizados como fechamentos externos e internos, nesse caso: “steel frame” (sistema construtivo), placa cimentícia (fechamento externo) e gesso acartonado (fechamento interno).

Gráfico 12. Comparativo em porcentagem referente a uma parede construída em "steel frame".
Fonte: A Autora (2014)

Observa-se no Gráfico 12 que, para uma parede construída com sistema "steel frame" e com fechamentos em placa cimentícia e gesso acartonado, o consumo de energia incorporada é 11,5 vezes maior que o CO₂ incorporado.

8 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

A seguir, na Tabela 15, observa-se uma compilação de resultados que foram extraídos da ferramenta BIM, a partir dos dados inseridos no “*software*” como forma de análise de impactos ambientais (energia e CO₂), causados pelos materiais de construção de dois sistemas construtivos: alvenaria e “*steel frame*”.

OBJETOS DE ESTUDO	ANÁLISES	ALVENARIA	STEEL FRAME	COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS
20 casas	CO ₂ Incorporado	545.418,37 Kg/CO ₂	402.960,00 Kg/CO ₂	Para as vinte casas haverá um consumo de 42% de CO ₂ incorporado para o uso do sistema construtivo <i>steel frame</i> e 58% para o uso de alvenaria.
	Energia Incorporada	3.950.435,30 MJ	3.804.098,00 MJ	Para as vinte casas haverá um consumo de 49% de energia incorporada para o uso do <i>steel frame</i> e de 51% para alvenaria.
1 casa	CO ₂ Incorporado	55.888,04 Kg/CO ₂	44.213,00 Kg/CO ₂	Para a construção de uma única casa haverá um consumo de 45% de CO ₂ incorporado para o uso de <i>steel frame</i> e de 55% para o uso de alvenaria.
	Energia Incorporada	397.474,01 MJ	392.171,00 MJ	Para a construção de uma única casa haverá um consumo de 49% de energia incorporada para o uso de <i>steel frame</i> e de 51% para o uso de alvenaria.
1 parede	CO ₂ Incorporado	335,55 Kg/CO ₂	263,52 Kg/CO ₂	Para a construção de uma parede individual em <i>steel frame</i> , haverá um consumo de 44% de CO ₂ incorporado e de 56% se a mesma parede for construída em alvenaria.
	Energia Incorporada	1.856,91 MJ	3.193,69 MJ	Para a construção de uma parede individual em <i>steel frame</i> haverá um consumo de 63% de energia incorporada e de 37% se a mesma parede for construída em alvenaria.

Tabela 15. Compilação de resultados que foram extraídos da ferramenta BIM.

Fonte: A autora (2014)

Observa-se na Tabela 15 que, para construção das 20 casas haverá um consumo de 42% de CO₂ incorporado para o uso de “*steel frame*” e 58% de CO₂ incorporado para se construir em alvenaria. Com relação ao consumo de energia incorporada, para o uso de alvenaria tem-se um consumo de 51% e com o uso do sistema construtivo “*steel frame*” tem-se um consumo de 49% de energia.

Ao se construir uma casa de cada vez o consumo de energia e CO₂ sofrem alterações com relação à porcentagem final de análise. Com o uso de “*steel frame*”, para uma casa, haverá um consumo de 45% de CO₂ incorporado e para a alvenaria tem-se um consumo de 55% de CO₂ incorporado.

As análises energéticas, no sistema BIM, podem ser realizadas para todo o empreendimento ou apenas para um único elemento como mostra esse estudo. Foi realizado o estudo em uma mesma parede em “*steel frame*” e alvenaria, onde os consumos energéticos podem ser comparados. Para uma parede construída em “*steel frame*” haverá um consumo de 44% de CO₂ incorporado e de 56% se a mesma parede for construída em alvenaria. No caso do consumo de energia para uma parede construída em “*steel frame*” haverá um consumo de 63% contra 37% se a mesma for construída em alvenaria.

A utilização dessa metodologia para desenvolvimento de projeto auxilia o profissional na escolha dos materiais de construção e consequentemente dos sistemas construtivos mais eficientes ambientalmente, no momento da realização do projeto.

9 CONCLUSÃO

A redução do consumo de matérias primas na construção civil é uma prioridade. A promoção da industrialização da construção permite reduzir as perdas e os impactos ambientais da construção, como o consumo de energia, emissão de gases poluentes, economia de água e diminuição da geração de resíduos. O cenário divulgado pelo IBGE (2013), prevê uma maior demanda por construções e pelo consumo dos insumos associados ao uso e operação destes empreendimentos. Portanto, com relação a construção de habitações, o impacto nas edificações comerciais, de serviços e demais construções relacionadas à habitação será considerável.

Assim como novas tecnologias construtivas, a adoção de ferramentas projetuais com tecnologia BIM, podem auxiliar no momento da tomada de decisões. Essa importância se justifica pois a cadeia de materiais de construção civil consome aproximadamente metade das matérias primas extraídas da natureza.

Sendo assim, essa pesquisa comprova a importância da utilização de novas tecnologias projetuais e construtivas para minimizar impactos ambientais relacionados aos materiais de construção. As ferramentas com tecnologia BIM fornecem suporte aos profissionais do setor da construção civil durante todo o processo de desenvolvimento do projeto auxiliando o estudo de viabilidade econômica e ambiental do empreendimento, concepção e execução dos projetos e planejamento da construção e da obra. A obtenção de dados de energia e CO₂ incorporados, através de ferramenta projetual com tecnologia BIM, fornece embasamento para processo de decisão quanto ao sistema construtivo ou material de construção a ser escolhido que ofereça menor impacto ambiental.

O problema de pesquisa abordou a questão de como obter dados de impactos ambientais relativos aos materiais de construção, durante o processo de desenvolvimento do projeto. A partir do problema delineou-se o objetivo principal de desenvolver um método para obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através de uma ferramenta com tecnologia de Modelagem da Informação da Construção ("*Building Information Modeling*" - BIM). Além dos objetivos principais, os objetivos específicos também foram cumpridos e se resumem em:

- a) auxiliar profissionais na tomada de decisões quanto ao sistema construtivo que proporcione menor impacto ambiental, durante o processo de desenvolvimento do projeto;
- b) Comparar dois sistemas construtivos: aço leve e alvenaria convencional, com relação aos consumos de energia e CO₂ incorporados nos materiais de construção.

Os dois objetivos específicos foram atingidos, assim como o objetivo principal.

Com relação à hipótese que se resume na possibilidade de obter dados de impactos ambientais relativos aos materiais de construção durante o processo de projeto, utilizando uma ferramenta com tecnologia BIM, se comprovou verdadeira.

Recomenda-se realizar esse método para outras tipologias construtivas assim como outros impactos ambientais como o consumo de água e a geração de resíduos na construção civil. Além disso as análises ambientais podem ser feitas em outras fases do ciclo de vida da edificação.

Dessa maneira profissionais da área da construção civil podem contribuir para a redução de impactos ambientais no momento da realização do projeto, podendo assim fazer escolhas de diferentes tipologias construtivas conforme os resultados das análises.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALLWOOD, J.M. ; CULLEN, J.M. ; CARRUTH, M.A. ; COOPER, D.R. ; MCBRIEN, M. ; MILFORD, R.L. ; MOYNIHAN, M. ; PATEL, A.C.H. **Sustainable materials: with both eyes open**. UIT, Cambridge, 2012.

AYRES, C.; SCHEER, S. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico**. In: Workshop Brasileiro de gestão do processo de projetos na construção de edifícios, 2007, Curitiba, PR.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma Brasileira NBR 15575-1_2013 Edificações Habitacionais — Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

AGOPYAN, V. **Agenda 21 para uma construção sustentável. Prefácio da versão em Língua Portuguesa**. São Paulo, 2000.

BEN (Balanço Energético Nacional). **Relatório Final 2013**: ano base 2012. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. EPE, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br>. Acessado em 12/2014.

BESSA, V., M., **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritório**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2010.

BIRX, G. W. **Getting started with Building Information Modeling**. The American Institute of Architects - Best Practices, 2006. Disponível em http://www.aia.org/bestpractices_index. Acessado em: 02/02/2009

BOUCHLAGHEM, DINO, et al. **Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC)**. Automation in Construction, n. 14, 2005. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/autcon>. Acessado em: 06.02.2009

BOURDEAU, L. Agenda 21 on sustainable construction. CIB Report Publication, 237, 1999.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford University Press. p. 398. 1987.

BUCHANAN, A.; HONEY, B. **Energy and carbon dioxide implications of building construction**. Energy and Buildings 20. Elsevier Science Ltd . 1994.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia, Secretaria de Energia. **Balanço Energético Nacional 2003**. Brasília, 2003. ISS 0101-6636.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2005: Ano base 2004**. Brasília, 2005a. ISS 0101-6636

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Nacional de Emissões de gases de efeito estufa**. Disponível em <http://www.mct.gov.br/clima/default.htm>.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. NT - COBEN 07/88 - **Avaliação do consumo residencial de lenha e carvão vegetal do balanço energético nacional**. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Guia Caixa. Sustentabilidade Ambiental. Selo Casa Azul, Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo, ed. Páginas e Letras, 2010.

CARDOSO, F.; ARAUJO, V. (2007). **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Levantamento do estado da arte: Canteiro de Obras**. Documento 2.6, Finep, 2007.

CASAGRANDE, E.; STACHERA, T. **Avaliação das emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná**. IX ENGEMA – Encontro Nacional sobre Gestão e Meio Ambiente, Curitiba. 2007.

CBCA (Centro Brasileiro de Construção em Aço). **Steel Framing: Arquitetura**. Série: Manual de Construção em Aço, 2014. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br>. Acessado em: 02/2015.

CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável). **Ferramenta 6 passos para seleção de insumos e fornecedores com critérios de sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br>. Acessado em 5/2013.

CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável); PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, 2014.

CIB (*International Council for Building*), **Agenda 21 on sustainable construction. CIB Report Publication 237**. Reino Unido, 1992.

CNI (Confederação Nacional das Indústrias), **Relatório Anual**. Brasília, 2012.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), **Resolução nº 1**. Diário Oficial da União, 1986.

CONSTRUBUSINESS, **Brasil 2022: planejar, construir e crescer**. 9º Congresso Brasileiro da Construção, FIESP, SP, 2010.

CONSTRUCTIONS PECIFIER. Disponível em, <http://www.constructionspecifier.com>. Acesso em 01/2015

DE PAULA, N.; UECHI, M. E.; MELHADO, S. B. **Novas demandas para as empresas de projeto de edifícios.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 137-159, jul./set. 2013.

ERNST; YOUNG. **Sustainable buildings in Brazil.** GBC Brasil: 2013.

EUROPEAN COMMISSION. **Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials**, 2004. Disponível em: <http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/sustdev/pvc-final_report_lca.pdf>. Acesso em: fev. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. **Directorate General XII for Science, Research and Development. Environmental impact of buildings: application of the life cycle analysis to buildings.** Paris: Center for Energy Studies, 1997. Disponível em: <<http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/html/11.html>>. Acesso em: fev. 2009.

FGV (Fundação Getúlio Vargas); ABRAMAT (Associação Brasileira de Materiais de Construção). **Perfil da cadeia produtiva da construção e da indústria de materiais e equipamentos**, FGV, 2014.

FOSSATI, M., **Metodologia para Avaliação da Sustentabilidade de Projetos de Edifícios: O Caso De Escritórios em Florianópolis.** Tese de Doutorado, UFSC, Santa Catarina, 2008

FREIRE, M.R.; AMORIM, A.L. **A abordagem BIM como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído.** TIC- 2011. Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. Salvador, 2011.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel framing:** arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manuais da Construção em Aço).

GARCIA, Danielly. **Metodologia de Avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos. Aplicação em um sistema estruturado em aço.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

GREVEN, H; BALDAUF, A., V. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: Uma abordagem atualizada.** Coleção Habitare / Finep. Porto Alegre, 2007.

HACKER, N. et al. **Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change.** Energy & Buildings, mar. 2007.

HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A.; ALDAYA, M.; MEKONNEN, M. **The Water Footprint Assessment Manual.** Setting The Global Standart, 2012. Londres, Washington DC.

HALLIDAY, S. P. **Architecture of habitat: design for life.** The Royal society, London, 1997.

HUANG, T. et al. **A virtual prototyping system for simulating construction processes**. Automation in Construction, n.16, 2007. Disponível em www.elsevier.com/locate/autcon. Acessado em: fev. 2009.

IAB (Instituto Aço Brasil). **Relatório de sustentabilidade 2012**. Disponível em www.institutoacobrasil.org.br. Acessado em 03/2013

IAB (Instituto Aço Brasil). **Relatório de sustentabilidade 2014**. Disponível em www.institutoacobrasil.org.br. Acessado em 01/2015.

IBGE (Insituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Estatística de Indicadores de Serviço**. Disponível em : www.ibge.gov.br. Acessado em 01/2015.

IBRAHIM, M; KRAWCZYK, R; SCHIPPORIET, G. **Two Approaches to BIM: A Comparative Study, 2004**.Disponível em: <http://www.iit.edu/~ibramag/> acessado em fev. 2009

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE . IPCC. **Mitigation of Climate Change IPCC Working Group III Report**. Bangkok, Thailand, May, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>..

(IPCC) Climate Change 2007: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change**. Geneva, Suíça, 2007. Disponível em: www.ipcc.ch. Acessado em 05/2013.

(IPCC) Climate Change 2014: **Impact, Adaptation and Vulnerability**. Yokohama, Japão, 2014. Disponível em: www.ipcc.ch. Acessado em 01/2015.

JOHN, V. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000

JOHN, V.; AGOPYAN, G. **O desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. Editora: Blucher. Volume 5. São Paulo, 2011

KALE, S; ARDITI, D. **Diffusion of Computer Aided Design Technology in Architectural Design Practice**. Jornal of Construction Engineering and Management (ASCE), v. 131. 2005.

LAKATOS, E.M.;MARCONI, M.A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2003

LAROCA, C. **Desenvolvimento de protótipo de habitação social em madeira de reflorestamento e avaliação do desempenho termo-acústico**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR, Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007

LEE, G, et al. **Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system**. Automation in Construction, n. 15, 2006. Disponível em <http://www.elsevier.com/locate/autcon>. acessado em jan. 2009

MATEUS, S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 288 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho; Guimarães, 2004.

MARCOS, M. **Análise de emissão de CO2 na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós Graduação em Construção Civil, UFPR, Curitiba – Paraná, 2009.

NBIMS (National Building Information Standard). **Transforming de building supply chain through open and interoperable information exchanges**. Versão 1 – Parte 1. Estados Unidos, 2007. Disponível em: <http://www.wbdg.org>. Acessado em 02/2015.

NEWSHAM G. R., MANCINI, S.; BIRT, B. J. **Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but...** In: Energy and Buildings, v. 41, n. 8, p. 897–905, 2009.

OLIVEIRA, J. **Proposta de avaliação e classificação da sustentabilidade ambiental de canteiros de obras. Metodologia ECO OBRA aplicada no Distrito Federal**. Tese (doutorado) em estrutura e construção civil. Universidade de Brasília (UNB), 2011.

OLIVEIRA, W. **LEED previsto x LEED realizado: o desafio da performance**. Conferência GreenBuilding Brasil, São Paulo, 2014.

ONU (Organização das Nações Unidas). **Relatório do Desenvolvimento Humano**. Nova Iorque, EUA, 2013. Disponível em: www.pnud.or.br. Acessado em 02/2015.

PINHEIRO, M., D. **Ambiente e Construção Sustentável**. Instituto do Ambiente. Portugal, Lisboa, 2006.

ROAF, Sue; FUENTES, Manuel; THOMAS Stephanie. Ecohouse – **A Casa Ambientalmente Sustentável**. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROODMAN, D.M.; N. Lenssen, **"A building revolution: how ecology and health concerns are transforming construction"**, Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, 1995

SCOFIELD, J. H. **Efficacy of LEED – certification in reducing energy consumption and green-house gas emission for large New York City office buildings**. In: Energy and Buildings, v. 67, p. 517-524, 2013.

SILVA, G. **Avaliação de Edifícios no Brasil: saltando de avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade.** Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 2003.

SPERLING, D. **O projeto arquitetônico, novas tecnologias de informação e o Museu Guggenheim de Bilbao.** II Workshop Nacional Gestão do Processo de Projeto na Construção Civil. Porto Alegre. 2002 Disponível: www.infohab.org.br Acesso: 02/02//2009

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras.** Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Programa de pós graduação em Engenharia Civil, 2006.

TRELOAR, G. **Improving the reliability of embodied energy methods for projects life – cycle decision making.** Logistic Information Management, vol.14, 303-317, 2001.

TSE, T.-C. K.; WONG, K.-D. A. e WONG, K.-W. F. **The utilisation of building information modelling: A study of data interfacing and adoption barriers.** *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, v. 10, 2005, p.85-110. Disponível em http://www.itcon.org/data/works/att/2005_8.content.05676.pdf. Acessado em: 12.2014.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME (UNEP). **Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth**, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, Alemanha, 2011.

VENKATARAMA, B. V. R.; JAGADISH, K. S. **Embodied energy of common and alternative building materials and technologies.** *Energy and Buildings*, 35 (2). Elsevier Science Ltd. 2003.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2005.